VISIT…

В. А. ОРЛОВ, В. И. ПЕТРОВ

ПРИБОРЫ НАБЛЮДЕНИЯ НОЧЬЮ И ПРИ ОГРАНИЧЕННОЙ ВИДИМОСТИ

МОСКВА
ВОЕННОЕ И
1989

ББК 68.9
О-66
УДК 537.533.3

Рецензент В. А. Осипов

Редактор *Ю. И. Планкин*

Воениздат, 1989

Светлой памяти академика Сергея Ивановича ВАВИЛОВА, основателя советской научной школы физической оптики, посвящается

Живое существо не имеет более верного и сильного защитника, чем глаз.

С. И. Вавилов

ВВЕДЕНИЕ

Современные военные уставы зарубежных армий рассматривают ночной бой как обычный вид боевой деятельности войск. Так, в боевом уставе бундесвера отмечается, что ночное время и ухудшенные погодные условия не должны отражаться на боевых действиях войск.

Известное ограничение боевых действий ночью и при плохой видимости объясняется недостаточными техническими возможностями приборов, обеспечивающих наблюдение целей и ведение по ним прицельного огня, а также трудностями материального порядка, препятствующими широкому вооружению всех родов войск новыми приборами. Однако, несмотря на это, в армиях наиболее развитых стран НАТО отношение общего количества оптико-электронных приборов, обеспечивающих возможность ведения боевых действий в условиях ограниченной видимости, к числу обычных оптических приборов составляет внушительную величину 6 : 4.

Технические средства, обеспечивающие возможность ведения боевых операций в условиях ограниченной видимости во время второй мировой войны:

осветительные средства — осветительные артиллерийские снаряды и мины, световые бомбы САБ и ФОТАБ, осветительные и сигнальные ракеты;

радиолокация;

звукометрическая аппаратура разведки стреляющих орудий и минометов;

прожекторные установки;

теплопеленгаторы для засечки морских и воздушных целей;

активные инфракрасные прицелы и приборы наблюдения.

Большинство перечисленных выше средств не обеспечивали выполнения боевой задачи с требуемой эффективностью вследствие либо демаскировки своих боевых по-

рядков (осветительные средства ближнего действия, активные приборы ночного видения), либо недостаточной информативности (радиолокация, звукометрия, теплопеленгация), либо ограничений, связанных с состоянием атмосферы, которые присущи всем средствам, кроме радиолокации.

Боевые действия Советской Армии в Великой Отечественной войне ночью и в непогоду отличались внезапностью и высокой эффективностью. Именно в таких условиях происходили бои, оказавшие исключительно большое влияние на ход войны, — форсирование крупных водных преград (Днепр, Висла, Одер), прорыв подготовленной глубокоэшелонированной обороны противника (Киев и Запорожье) и, наконец, Берлинская операция, где были использованы мощные прожекторные установки, деморализовавшие противника настолько, что он потерял управление обороной и инициатива перешла полностью к нашим войскам.

В настоящее время положение существенно изменилось и боевые действия в условиях ограниченной видимости ночью и в непогоду или из-за применения противником средств искусственной маскировки можно вести без особых ограничений, так как повысились тактико-технические характеристики (ТТХ) новых приборов и значительно возросло их число в войсках. Так, улучшились тактико-технические данные — дальность действия и сила света осветительных ракет с парашютирующими звездками, осветительных снарядов, авиабомб и мин за счет применения новых пиротехнических составов. Современные РЛС миллиметрового диапазона обеспечивают наблюдение целей с четкостью изображения, приближающейся к оптической, в условиях полной потери видимости, вызванной атмосферными условиями или применением противником помех. Особенно заметные изменения произошли в аппаратуре наблюдения теплоизлучающих целей. Теплопеленгация, применявшаяся в первой и второй мировых войнах, уступила место новой технике воспроизведения изображения — **тепловидению,** когда теплоизлучающая цель фиксируется не в виде отметки или всплеска на индикаторе, а наблюдается в виде картины с четкостью телевизионного стандарта.

Современные средства наблюдения при ограниченной видимости основаны на использовании свойств инфракрасного диапазона электромагнитных волн.

«Основным преимуществом ИК-систем по сравнению с радиочастотными средствами является их высокая скрытность действия. По современным воззрениям, весь диапа-

зон радиочастот будет так забит радиоразведкой и радиопротиводействием, что им невозможно будет пользоваться ни одной из воюющих сторон. Здесь ИК-средства являются наиболее перспективными, так как они позволяют вести разведку и опознавание целей в пассивном режиме, а также в условиях световых помех на поле боя, обеспечивают, хотя и ограниченное, наблюдение целей сквозь листву, масксети и камуфляж», — указывает английский специалист по ИК-технике В. Фрезер *. «Кто плохо видит ночью, будет побежден!» — вторит ему западногерманский коллега Э. Хекман **.

После второй мировой войны развитие ИК-техники шло в основном по пути совершенствования уже имеющейся техники ночного видения: уменьшения габаритных размеров и массы аппаратуры за счет использования более эффективных источников света — ИК-прожекторов, энергоемких источников тока, маломощных высоковольтных преобразователей. Так, армия США получила новый прицел «Суперснайперскоп» с улучшенными характеристиками по дальности действия, габаритным размерам и массе. Однако качественные изменения в приборах ночного видения (ПНВ) произошли в конце 50 — начале 60-х годов, когда начатые еще немецкими исследователями работы по созданию электронно-оптических преобразователей (ЭОП) с усилителями яркости изображения (УЯИ) были успешно завершены учеными и инженерами ведущих стран мира. Промышленность этих стран перешла к выпуску ПНВ с УЯИ I поколения пассивного типа (активные приборы с ИК-прожекторами получили по современной зарубежной классификации наименование ПНВ нулевого поколения), обеспечивающими наблюдение в условиях естественной ночной освещенности (ЕНО), создаваемой рассеянным светом небесного свода, звезд и Луны.

С созданием пассивных ПНВ и ликвидацией ИК-прожекторов вооруженные силы получили новый класс приборов ночного видения, обеспечивающих возможность решения ряда тактических задач с той же эффективностью, что и днем, с одновременным усилением морального воздействия на противника, особенно не располагающего подобными приборами.

С разработкой ЭОП с УЯИ II поколения настал, по определению печати, «золотой век» ИК-техники, когда ПНВ приобрели компактность и массу, близкие к дневным при-

* International Defense Review. 1980. V. 13. No 2. P. 251.
** Wehrtechnik. 1980. No 1. S. 67.

борам. Появились ночные бинокли и даже очки, что существенно приблизило решение задачи, поставленной перед современной техникой: превращение ночи в день.

80-е годы называют «вторым золотым веком» ИК-техники, так как в это десятилетие произошло качественное изменение приборов ночного видения, заключающееся в становлении нового направления ИК-техники — тепловидения. Тепловизионные приборы (ТВП), отличающиеся от ПНВ принципом действия, заключающимся в наблюдении местности и целей в спектре их собственного теплового излучения, обладают возможностью видения не только ночью, как ПНВ, но и днем в условиях плохой видимости, вызванной как погодными условиями, так и использованием противником средств искусственной маскировки и камуфляжа.

В это же десятилетие произошел скачок и в технике ночного видения: исследования и разработки ряда промышленных фирм Западной Европы и США привели к созданию ПНВ III поколения, способных вести наблюдение в очень темные ночи, что обеспечивает возможность видения целей в средних широтах практически круглые сутки.

Все эти качества новых приборов существенно повысили эффективность оружия, поэтому работам по дальнейшему их совершенствованию в странах НАТО придается первостепенное значение. Интерес, который проявляют к средствам, обеспечивающим возможность ведения боевых действий в условиях ограниченной видимости, военные и военно-промышленные круги стран Запада, находит отражение в капиталовложениях на исследования и разработки, а также в серийном производстве новых поколений приборов в странах НАТО.

По сообщениям зарубежной печати, в десятилетие 1982—1992 гг. намечается дальнейшее расширение производства ПНВ нового поколения — тепловизионной аппаратуры — за счет привлечения новых фирм. Так, в США расходы на пассивные ПНВ и тепловизионные приборы составят 7—9 млрд. долларов, из которых 70% будет направлено на удовлетворение запросов СВ США. По прогнозам, средний рост заказов на тепловизионные приборы для армии США составит на ближайшие годы около 22% ежегодно.

Конфронтация между Великобританией и Аргентиной из-за Фолклендских (Мальвинских) островов явилась своеобразной проверкой эффективности современной техники ночного видения. Военные действия, начавшиеся на

море, завершились высадкой британских войск на острова, где ночная атака воздушно-десантных войск и войск специального назначения, оснащенных приборами ночного видения и тепловизионными приборами, не только состоящими на вооружении, но и опытными и лабораторными образцами, как отмечала печать западных стран, со всей ясностью показала эффективность ведения боевых действий в ночное время, возможность которых была обеспечена только за счет интенсивного использования приборов ночного видения.

Исследованиями и разработками в области создания оптико-электронных приборов — ПНВ и ТВП — занимается более двух десятков крупнейших фирм и корпораций США, Западной Европы и даже таких стран, как ЮАР и Израиль. Часть фирм разрабатывает и поставляет приборостроительным фирмам комплектующие изделия: фотоприемники, ЭОП, специальную оптику и электронные схемы, осуществляя широкую кооперацию. Другие образуют мощные консорциумы международного масштаба по выпуску оптико-электронных приборов для оснащения ими армий стран, входящих в НАТО.

Сведения о разработке, испытаниях, производстве и перспективах дальнейшего совершенствования приборов, работающих в условиях ограниченной видимости, — ПНВ и ТВП — довольно широко публикуются в периодической печати западных стран, однако они нередко носят противоречивый характер и требуют критического подхода и анализа, без которых невозможна их оценка по существу.

В предлагаемой книге сделана попытка обобщить и систематизировать материалы, опубликованные в последние годы зарубежной печатью, в области создания, производства, применения и перспектив дальнейшего совершенствования этих технически интересных образцов военной техники, существенно расширяющих границы возможностей познания, определенных человеку природой, и могущих быть использованными и в мирной жизни.

В книге описываются только приборы, обеспечивающие визуальное наблюдение местности и расположенных на ней объектов, а также их различение на сопутствующих фонах для идентификации и принятия решения о воздействии на них имеющимися средствами. К таким приборам относятся:

приборы ночного видения, использующие принцип преобразования невидимого для невооруженного глаза изображения местности и целей ночью в видимое изображение;

приборы ночного видения, основанные на использовании телевизионных передающих трубок, работающих при низких уровнях ЕНО;

тепловизионные приборы, использующие принцип преобразования собственного теплового излучения местности и целей (тепловой картины) в изображение, наблюдаемое человеческим глазом, в том числе в условиях тумана, дождя, снегопада и искусственных помех — задымления и применения маскирующих аэрозольных образований днем и ночью;

приборы ночного видения, использующие лазерную подсветку целей для наблюдения в ограниченных условиях видимости днем и ночью, вызванных метеорологическими факторами или применением противником средств искусственной маскировки и противодействия.

В книге рассматриваются также современные средства противодействия оптико-электронным приборам разведки и прицеливания, способы разведки активных приборов наблюдения и лазерных систем наблюдения целей и наведения боеприпасов.

Тактико-технические характеристики различных военных приборов и возможность решения с их помощью различных тактических задач, приведенные в книге, могут оказать помощь военным читателям в их учебной и служебной деятельности, в ходе военных учений и тренировок, а допризывной молодежи — в период подготовки к службе в Советской Армии.

1. ГЛАЗ И ЕГО ВОЗМОЖНОСТИ В ПРОЦЕССЕ НАБЛЮДЕНИЯ

1.1. Глаз и его возможности

«Видеть — значит различать врага и друга и окружающее во всех подробностях...» — писал замечательный советский физик С. И. Вавилов.

«Зрение служило не только основным, но и почти единственным способом обнаружить врага, оно должно было действовать и в сумерки и даже при свете звезд, когда энергия поступает лишь редкими порциями, — вторит ему американский ученый А. Роуз и продолжает: — Однако невозможно представить, что чувствительность зрительного процесса заметно возрастает. Зрительный процесс представляет абсолютную конечную веху в цепи эволюции. Законы квантовой физики устанавливают жесткий предел, к которому наша зрительная система приблизилась почти вплотную».

Здесь поставлена точка. Однако изучение органов зрения продолжается и будет продолжаться, чтобы глубже исследовать и понять процессы, происходящие в зрительном аппарате от входного зрачка до нервных окончаний в отделах головного мозга. Цель такого изучения — создание аппаратуры в помощь глазу, аппаратуры, способной преодолеть барьер, поставленный природой человеку: возможность видения ночью, в туман и дым, что представляет интерес не только для войны, но и в мирной жизни человека.

Великий русский ученый М. В. Ломоносов, изучая глаз совы, заметил: «Но все же размеры зрачка совы даже в присутствии света ясно показывают, что для ночного зрения много значит большее количество света, собранное бо́льшим отверстием...» И далее: «Поскольку наш зрачок не может расширяться еще больше и собирать большое количество света, я применил два стекла — одно с большой

поверхностью, которое захватило бы огромную массу лучей и собирало бы их преломлением, другое, значительно меньшее, которое, снова преломляя лучи, превращало бы их в параллельные».

Таким образом, уже более двухсот лет назад была предвосхищена современная идея совершенствования человеческого зрения путем использования промежуточного звена между объектом наблюдения и глазом человека — **интерфейса.** Современная оптика широко использует светосильные объективы с большим входным отверстием для работы в сумерки и даже ночью. Так, например, современные бинокулярные зрительные трубы с объективами диаметром 100 мм и увеличением 10× успешно применяются для наблюдения в сумерки и при ЕНО порядка нескольких сотых долей люкса.

В огромном спектре электромагнитных волн, простирающемся от гамма-излучения с длиной волны менее сотой нанометра до радиоизлучения с длинами волн десятки километров (рис. 1), спектральная чувствительность глаза человека представляет узенькую полоску от 0,4 до 0,76 мкм в видимой области. Несмотря на кажущуюся ограниченность, объем информации об окружающем нас мире, получаемый с помощью зрения, настолько велик и многообразен, что все остальные органы чувств являются дополнением, хотя и могут поставлять информацию, опережающую по времени зрение. Объем информации, поступающий от органов зрения, составляет, по данным науки, 90% всей информации органов чувств человека!

На войне зрение является одним из источников получения наиважнейшей информации, необходимой для принятия решения, независимо от того, получены ли эти сведения визуально или через промежуточную систему — оптический или оптико-электронный прибор, экран РЛС или путем дешифрирования аэрофотоснимков и звукометрических лент.

Как известно, сфокусированное хрусталиком глаза изображение воспринимается светочувствительным приемником глаза — сетчаткой, состоящей из фоторецепторов двух видов: палочек и колбочек, где происходит поглощение света и превращение принятой им световой энергии в электрические сигналы, передаваемые в мозг. Все зрительные восприятия осуществляются с помощью палочек и колбочек, однако различение цвета присуще только колбочкам, в то время как различение света и темноты производится и палочками, и колбочками. При этом наиболее ответствен-

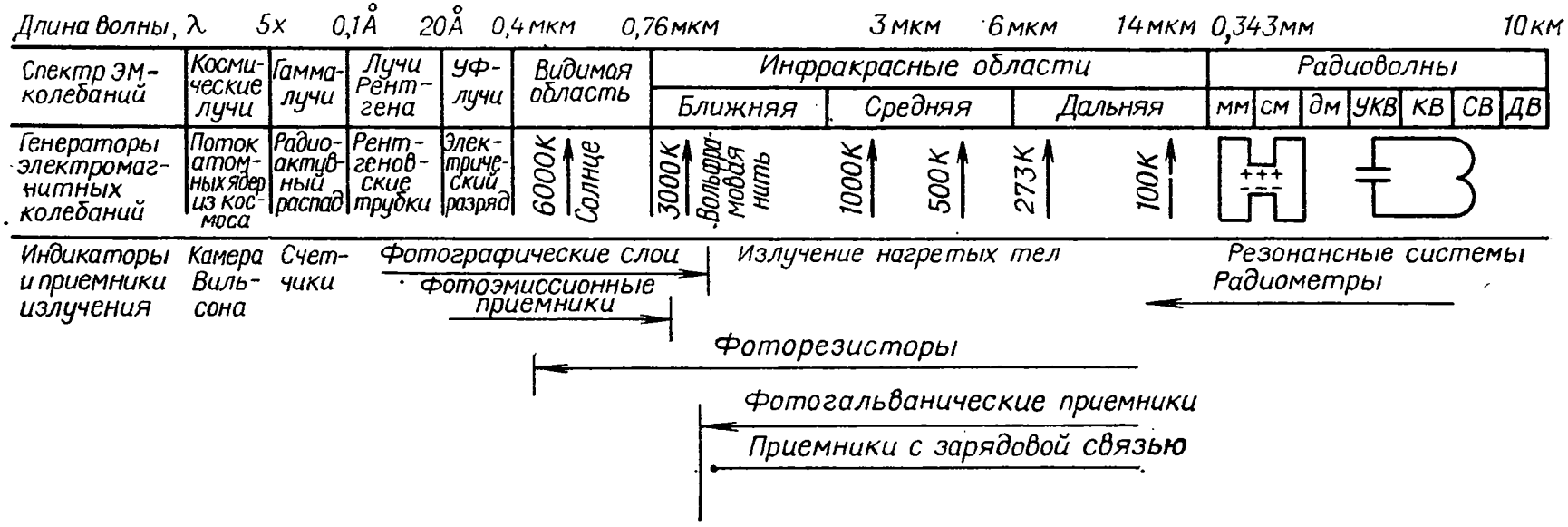


Рис. 1. Спектр электромагнитных волн. **Генераторы электромагнитных колебаний и области работы современных приемников излучения**

ным элементом глаза является небольшой участок, расположенный на оптической оси хрусталика, называемый желтым пятном, в центре которого находится центральная ямка — фовеа, где расположены тесно прижатые друг к другу колбочки. Они-то и определяют разрешающую способность глаза — остроту зрения и цветоразличение. В фовеальной области палочек нет, а так как колбочки не чувствительны к свету, в том числе и к сумеречному, то фовеальное зрение непригодно для рассматривания тусклых неконтрастных объектов после наступления темноты. И здесь вступает в силу аппарат палочек, расположенный на периферии. Разрешающая способность глаза при солнечном свете обеспечивается колбочками и составляет 0,5—1 угл. мин, а в сумерки она падает, передавая свои функции аппарату палочек. При этом спектральная чувствительность глаза смещается в сторону более коротких волн, а ее максимум с длины волны 0,55 мкм переходит на длину волны 0,51 мкм (пунктирная кривая на рис. 2).

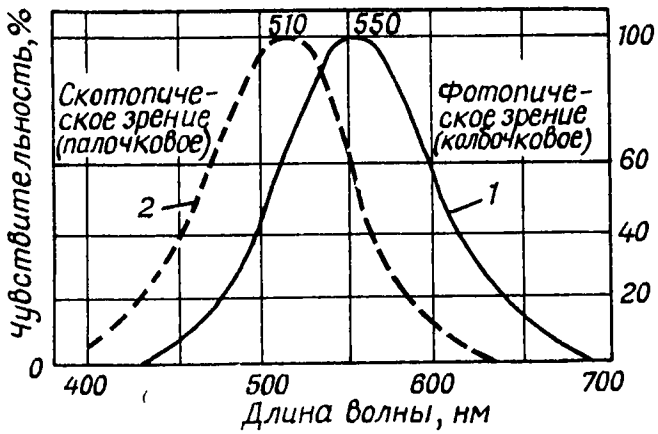


Рис. 2. Кривые спектральной чувствительности глаза:

1 — в светлое время суток; *2* — в темноте

Еще одним весьма важным свойством зрительного аппарата человека является способность к адаптации — изменению чувствительности в зависимости от освещенности на зрачке. Известно, например, что в сумерки глаз способен чувствовать яркость, в 100 раз меньшую, чем в дневное время. Исследуя процесс адаптации, советский биофизик Н. И. Пинегин установил, что темновая адаптация, т. е. приспособление глаза к темноте, протекает в два периода: первый длительностью около 2 мин, когда чувствительность глаза повышается в 10 раз, и второй длительностью 8 мин,

когда чувствительность возрастает еще в 6 раз. В начальный период действует аппарат колбочек, но затем с понижением освещенности включаются расторможенные палочки и чувствительность глаза в условиях сумерек, а затем и темноты возрастает. Рассматривая факторы, увеличивающие световую чувствительность при адаптации, советский ученый А. В. Луизов отмечает, что «...ухудшение остроты зрения с падением яркости есть не просто недостаток зрения, а активный процесс, позволяющий при недостатке света видеть в поле зрения хотя бы крупные предметы или детали».

Световая адаптация имеет место при внезапном нарушении темноты. В первое мгновение зрение парализуется полностью, и человек перестает видеть. Затем начинает действовать аппарат адаптации: резко сокращается зрачок, падает чувствительность палочек и функции зрения переходят к колбочкам, притормаживающим аппарат палочек, а через некоторое время и выключающим его. Начинается перестройка всего зрительного аппарата от сетчатки до головного мозга, которая помогает справиться с ослеплением и дает возможность видеть в условиях больших яркостей.

Известно, для того чтобы видеть какой-либо предмет, необходимо, чтобы этот предмет был освещен. Успешная работа зрения зависит от степени освещенности наблюдаемой картины. В дневное время, когда освещенность создается светом Солнца, глаз человека обладает наибольшей цветовой и контрастной чувствительностью. В сумерки, когда солнечный диск постепенно уходит за линию горизонта, освещенность падает в зависимости от глубины погружения Солнца. Уменьшение освещенности вызывает ухудшение работы зрения, а следовательно, сокращение дальности наблюдения и ухудшение цветоразличения.

Советский ученый В. В. Шаронов предлагает следующую таблицу, показывающую работу зрения при различных уровнях освещенности, определяемых положением Солнца (табл. 1.1).

Для средних широт естественная освещенность и яркость ландшафта в условиях сумерек изменяются довольно медленно — в 2 раза за 5 мин. В этом случае адаптация зрения успевает произойти к новым значениям яркости, и чувствительность глаза достаточно долго остается высокой. Резкие же перемены освещенности (пламя выстрела, вспышка молнии) нарушают нормальный ход зрительных

Таблица 1.1

Зависимость качества зрения от уровня освещенности, создаваемой Солнцем

Время суток	Погружение Солнца, град	Освещенность при ясной погоде, лк	Работа зрения		
			Порог остроты зрения, угл. мин	Порог контрастной чувствительности глаза, %	Различение цвета
День	0	1000	0,5	1	Отчетливо
Гражданские сумерки	0—6	1000—3,5	1—0,5	3—1	Насыщенные — отчетливо, блеклые — плохо
Навигационные сумерки	6—12	$3{,}5—6 \cdot 10^{-4}$	15—1	40—30	Насыщенные — плохо, блеклые — совсем неразличимы
Астрономические сумерки	12—18	$6 \cdot 10^{-4}$— $6 \cdot 10^{-3}$	30—15	60—40	Совсем неразличимы
Ночь	18	$6 \cdot 10^{-4}$	30	60	—

функций, адаптация не происходит и чувствительность зрения резко падает.

В ночное время освещенность создается Луной, отражающей свет Солнца, а в ее отсутствие — звездным светом. Лунный свет в основном обладает теми же спектральными характеристиками, что и солнечный, но только ослабленными в 10^5 раз. Звездный же свет при безоблачном небе создает освещенность, величина которой составляет лишь 0,1% освещенности в полнолуние. Обычно для расчетов дальности действия ПНВ пассивного типа с УЯИ I и II поколений принимают освещенность при свете Луны равной 0,1 лк, а при безоблачном звездном небе — 10^{-3} лк. При этом спектральная характеристика звездного света по интенсивности имеет тенденцию к повышению в ближней ИК-области, вследствие чего наблюдение в этих условиях невооруженным глазом, даже адаптированным, практически невозможно, так как в этой спектральной области глаз уже не обладает чувствительностью. На рис. 3 приводятся данные уровней естественной освещенности днем и ночью, а также функции зрения при дневном свете, в период темновой адаптации и в условиях ЕНО.

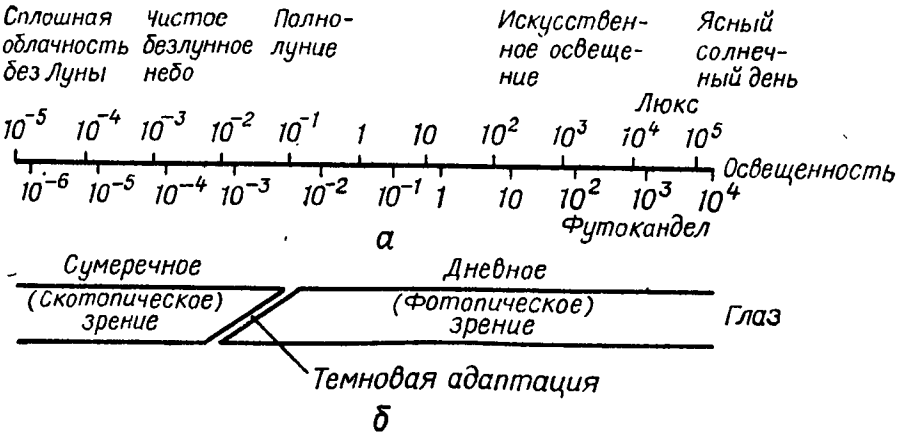


Рис. 3. Естественные уровни освещенности (*а*), зрение и процесс темновой адаптации (*б*)

В дневное время и в сумерки разрешающую способность глаза можно улучшить за счет наблюдения в оптические приборы. Но с дальнейшим уменьшением освещенности дневное (фотопическое) зрение прекращается и начинает действовать аппарат темновой адаптации, обеспечивающий сумеречное (скотопическое) зрение. При освещенности менее 0,1 лк цвета уже не различаются. Процесс адаптации, протекающий при освещенностях от десятых до нескольких сотых долей люкса, дает возможность наблюдения в условиях темноты при полной темновой адаптации, что достигается тренировкой наблюдателей.

Проводя исследования в области инженерной психологии, ученые разработали рекомендации по наблюдению малоконтрастных объектов в ночных условиях. В соответствии с этими рекомендациями наблюдатель, желающий обнаружить объект ночью, должен смотреть в направлении около 20° в сторону от того места, где он ожидает предмет. Если же дело идет об опознавании предмета, то надо смотреть на 4—8° в сторону от этого предмета. Эти особенности зрения рекомендуется использовать при подготовке артиллерийских наблюдателей и наводчиков орудий.

1.2. Поиск и наблюдение

Способность видеть, наблюдать является главной функцией зрения человека. С незапамятных времен человек сообразует свои действия с наблюдением: рассматривая местность и расположенные на ней предметы, он подмечает изменения, которые происходят в обозреваемом пространстве, и принимает решение. В дневное время процесс наблюде-

ния облегчается за счет высокого уровня освещенности и полного использования функциональных возможностей зрения, в том числе и цветоразличения. В ночное время эти возможности ограничены настолько, что человек даже на открытой местности способен наблюдать только крупногабаритные объекты.

Для того чтобы обнаружить объект, надо произвести его поиск. Авторы книги «Теория поиска в военном деле»— А. А. Емельянов, В. П. Абчук и другие так формулируют задачу поиска: «...поиск представляет собой процесс обследования пространства средствами зрительного или технического наблюдения с целью обнаружения какого-либо объекта, являющегося объектом (лучше предметом) поиска. В зависимости от обстановки поиск может производиться в предположении, что объект находится в районе поиска, либо о его местоположении имеются более определенные данные. В отдельных случаях поиск может производиться с целью подтверждения факта отсутствия объекта поиска в районе поиска».

Н. П. Травникова в своем труде «Эффективность визуального поиска» определяет поиск объекта как результат решения трех задач: обнаружение, когда наблюдатель выделяет из фона объект, характер которого остается для него неясным; опознавание, когда наблюдатель называет объект и может определить его форму, т. е. крупные детали объекта; кульминация — идентификация объекта, когда наблюдатель, различая отдельные мелкие детали, может отличить этот объект от других, находящихся в поле его зрения.

В. В. Шаронов — автор известного труда «Свет и цвет» — считает, что объект нельзя обнаружить или он будет виден очень плохо, если его угловые размеры слишком малы, если он не выделяется на окружающем его фоне или сливается с ним, если он находится в темноте и сам не светится, если время его пребывания в поле зрения слишком мало, если свет окружающих его ярких источников вызывает ослепленис.

Примерно такой же точки зрения придерживаются зарубежные ученые Баретт и Кинг, рассматривая критерии трех основных компонентов решения задачи поиска и называя их несколько по-иному: детектирование, обнаружение и индентификация. Они утверждают, что вероятность детектирования является функцией размеров и контраста объекта, а их составляющие определяют либо величину телесного угла объекта в сравнении с телесным углом поля

зрения, либо процент поля зрения, занимаемый объектом. Контраст в любой точке определяется отношением разности яркостей объекта и фона $L_o - L_ф$ к их сумме $L_o + L_ф$.

Обнаружение и опознавание объекта определяются минимумом информации, необходимой для выявления сигнатуры — характерных для данного объекта наружного контура или структуры поверхности, отвечающих виду (классу) обнаруживаемого или опознаваемого объекта.

Так как Баретт и Кинг рассматривают процесс поиска применительно к оптико-электронным приборам со строчной или ячеистой структурой изображения, то они предлагают минимумы информации для каждого из трех компонентов поиска, а именно: детектирование — от 1 до 3 пар линий, обнаружение — от 3 до 6 пар линий и идентификация — от 7 до 15 пар линий. Отсюда можно установить число пар линий на миллиметр, определяемое полем зрения прибора.

Исследованиями, проведенными Н. П. Травниковой с сотрудниками, определены факторы, влияющие на решение задач поиска, к которым относятся:

угловые размеры объекта — δ;

контраст объект/фон — $K = (L_ф - L_o)/L_ф$ или $K = (L_o - L_ф)/L_o$;

яркость фона — $L_ф$;

угловые размеры поля обзора — 2β;

время наблюдения объекта — t;

скорость движения объекта — V.

В результате исследований и экспериментальной проверки установлено следующее.

1. Вероятность обнаружения объекта зависит от угловых размеров самого объекта и его контраста с фоном. Чем больше объект и выше контраст, тем раньше этот объект будет обнаружен, так как в поиске будет принимать участие не только центральная область глаза, но и периферическая, обладающая бо́льшим полем. При этом опознавание объекта может произвести центральная область глаза — фовеа, обладающая высокой разрешающей способностью. При поиске объекта его форма не играет большой роли, а имеет значение только его площадь в пределах соотношения сторон от 1 : 1 до 1 : 10. Увеличение угловых размеров объекта в 2 раза сокращает время, необходимое для его обнаружения, в 8 раз!

2. Значения контраста колеблются в довольно широких пределах. Контраст $K = 0{,}08$, когда объект почти сливается с фоном, считается плохим. При $K = 0{,}16$ контраст называ-

ется промежуточным, а при $K=0{,}32$ — средним. Величина контраста определяет время, необходимое для поиска объекта: уменьшение контраста приводит к увеличению времени поиска.

3. Время, необходимое для обнаружения объектов светлее и темнее фона при одинаковых абсолютных значениях положительного и отрицательного контрастов, одно и то же. С увеличением яркости фона время поиска объекта уменьшается, так как увеличивается разрешающая способность и контрастная чувствительность глаза. Другое дело, если яркость фона чрезмерно велика: в этом случае возникает дискомфорт и даже ослепление, ухудшающие разрешение и контрастную чувствительность глаза. Вот тогда и возникает необходимость световой адаптации, в результате чего увеличивается время поиска объекта. В подобных случаях пользуются поляроидами или нейтральными фильтрами для уменьшения яркости.

4. С увеличением поля обзора увеличивается и время, необходимое для поиска объекта: двукратное увеличение поля обзора повышает время поиска в 4 раза, при этом время поиска определяется не формой поля, а его угловой площадью.

5. Поиск движущихся объектов имеет свои особенности: движение ухудшает видимый контраст объекта, величина которого зависит не только от угловой скорости, но и от угловых размеров объекта наблюдения. Чем меньше угловой размер объекта, тем больше влияние скорости на время и вероятность обнаружения объекта. Объекты, движущиеся с малой скоростью, обнаруживаются легче, чем неподвижные, а движущиеся с большой скоростью — труднее из-за ухудшения видимого контраста. Дальнейшее увеличение скорости может привести к потере видимости объекта. Вероятность обнаружения движущихся объектов на фоне с большой яркостью практически не зависит от размеров поля обзора 2β.

Невооруженный глаз человека имеет поле зрения умеренного качества 40° по горизонтали и 30° по вертикали (что определило выбор соотношения горизонтального и вертикального размеров экрана кино и телевидения как 4 : 3), кольцевое поле высокого качества — 9° и поле наилучшего видения — 2°, что соответствует 15, 40 и 150 условным единицам остроты зрения в дневных условиях, когда яркость фона составляет десятки кд/м^2. Эти качества обеспечивают возможность наблюдения объектов на разнообразных фонах в дневное время.

При ухудшении видимости, при необходимости поиска малоразмерных объектов или изменении поля обзора используют оптические приборы.

К числу характеристик оптических приборов, определяющих возможность наблюдения неподвижных и движущихся объектов в полевых условиях, относятся:

увеличение $Г^{\times}$ крат;

поле зрения 2β, град;

коэффициент светопропускания τ, %;

диаметры входного ($Д$) и выходного (d) зрачков, мм.

Увеличение прибора является его важнейшей характеристикой. Оно определяет возможность обнаружения и опознавания объектов с малыми угловыми размерами на заданной дальности, а также объектов, движущихся с большой скоростью. При наблюдении в оптический прибор размеры объектов увеличиваются в число раз, равное кратности увеличения прибора. Однако время, необходимое для обнаружения объекта и зависящее от яркости фона, контраста объекта и его угловых размеров, сохраняет свою величину при наблюдении как невооруженным глазом, так и в оптический прибор.

Оптическая система «прибор+глаз», по замечанию Н. П. Травниковой, определяется в конечном счете разрешающей способностью глаза, лежащей в пределах 0,5—1 угл. мин, а также характеристиками самой оптической системы по сохранению этой величины по всему полю зрения прибора.

Величина **поля зрения** выбирается в зависимости от назначения прибора: приборы наблюдения должны располагать бóльшим полем зрения в отличие от прицелов, задачей которых является наведение боеприпаса в самые уязвимые места цели, что обеспечивается увеличением.

Коэффициент светопропускания, определяемый потерями света по ряду причин (отражение света в приграничной области воздух/поверхность стекла, многократное отражение от преломляющих поверхностей и другие причины, вызывающие уменьшение контраста), в простейших оптических приборах довольно высок и составляет около 95%, в то время как в сложных оптических приборах с большим числом оптических элементов потери снижены до 25%. В современных приборах потери в светопропускании значительно уменьшены за счет нанесения на оптические элементы специальных просветляющих покрытий, улучшающих пропускание в рабочей области прибора по длине волны.

Диаметры входного (D) и выходного (d) зрачков оптического прибора являются также важной характеристикой для приборов, предназначаемых для работы в сумерках, когда из-за уменьшения освещенности ухудшаются контраст объектов наблюдения и разрешающая способность глаза. Эта характеристика определяется величиной поля зрения объектива и окуляра, связанных соотношением $2\beta' = \Gamma^{\times} \cdot 2\beta$.

Опыты, проведенные Н. П. Травниковой, по определению вероятности обнаружения движущихся объектов при наблюдении невооруженным глазом и в оптический прибор показали, что при яркости фона 100 кд/м^2 вероятность обнаружения объекта с контрастом $K=0{,}2$ при угловых размерах 2,4 угл. мин, скорость движения которого увеличивалась с 1 до 13 град/с, при наблюдении в оптический прибор почти в 3 раза больше вероятности обнаружения невооруженным глазом.

Большое влияние на эффективность наблюдения оказывают погодные условия, в частности состояние атмосферы, определяющее метеорологическую видимость, которая зависит от наличия в атмосфере взвешенных частиц пыли и влаги, образующих мглу и туман, капелек и кристаллов воды в виде дождя и снега, а также специальных аэрозолей и дымов, содержащих твердые частицы. Все это вызывает замутнение атмосферы и ухудшает видимость. В общем случае прозрачность атмосферы зависит от длины проходящего сквозь нее излучения и взвешенных в атмосфере частиц: при размерах частиц больше половины длины волны света пропускание значительно ухудшается.

На рис. 4 изображены характеристики пропускания излучения интересующего нас диапазона длин волн: видимой, ближней инфракрасной, средней и дальней инфракрасных областей спектра. Три последние являются основой создания систем видения в условиях ограниченной видимости, т. е. ночью и при плохой видимости из-за атмосферных условий днем, в том числе при искусственном задымлении или использовании специальных аэрозолей.

Перечисленные выше области лежат по порядку в следующих интервалах длин волн:

видимая область — от 0,4 до 0,7 мкм;

ближняя инфракрасная — от 0,7 до 3,0 мкм;

средняя и дальняя инфракрасные — от 3 до 6 и от 8 до 14 мкм соответственно.

Области содержат участки, где пропускание выше, чем в других участках спектра. Такие участки с хорошим про-

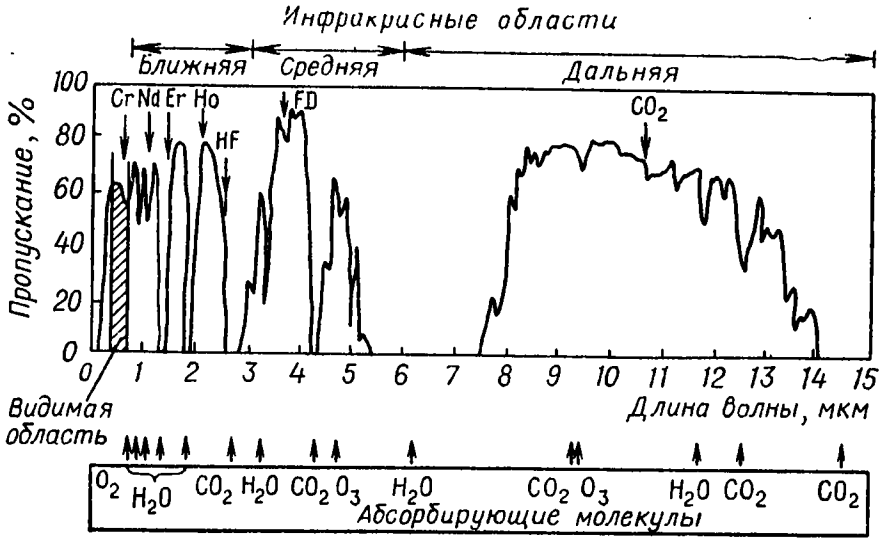


Рис. 4. Характеристики пропускания атмосферы, снятые на трассе длиной 2000 м при температуре +15° С и влажности 40%

пусканием называют **окнами прозрачности.** Именно они и определили перспективы создания систем видения, обладающих относительно большой дальностью действия, зависящей от поглощения излучения различными абсорбентами.

Так, в видимой области прохождению света препятствуют абсорбирующие молекулы кислорода и воды, поэтому коэффициент пропускания в ней немногим более 60%. Примыкающая к видимой области ближняя ИК-область характеризуется несколько бóльшим пропусканием — до 70%. Абсорбентом в этой области являются пары воды. В средней ИК-области в диапазоне 3—4 мкм пропускание достигает почти 90%. Высокое пропускание имеет довольно обширный участок (диапазон) от 8 до 12 мкм (дальняя ИК-область). Абсорбентами в нем являются те же молекулы кислорода и воды, а также углекислого газа и озона, сопутствующие приземному слою атмосферы. В верхних слоях атмосферы потери, связанные с поглощением, существенно уменьшаются, в основном за счет снижения упругости водяных паров и уменьшения плотности воздуха.

Характеристики пропускания на рис. 4 сняты на трассе протяженностью 2000 м в морской зоне с влажностью воздуха 40% при окружающей температуре +15°. Стрелки в верхней части графика обозначают длины волн излучения различных лазеров: на рубине (Cr), стекле с неодимом или алюмоиттриевом гранате (АИГ), эрбии (Er), гольмии

(Но), фтористом водороде (HF), фтористом дейтерии (FD) и углекислом газе (CO_2), излучение которых, как это будет показано ниже, используется в качестве противодействия оптико-электронным приборам — ПНВ и ТВП.

1.3. Естественная ночная освещенность

Когда Солнце находится в зените, освещенность земной поверхности достигает максимума и составляет при коэффициенте прозрачности атмосферы около 70% более 100 000 лк. С движением к горизонту, когда зенитное расстояние Солнца от Земли достигает максимума, освещенность, создаваемая Солнцем, составляет всего лишь 10 лк. При этом изменяется и состав солнечного света, так как при прохождении толщи атмосферы синие и фиолетовые лучи ослабляются сильнее, чем оранжевые и красные, вследствие чего максимум излучения Солнца смещается в красную область спектра. С дальнейшим погружением Солнца за горизонт и наступлением сумерек, когда источником освещения является заря, освещенность, создаваемая светом неба, убывает вплоть до наступления астрономических сумерек (табл. 1.1), за которыми следует наиболее темное время суток — ночь.

Источником излучения, создающим естественную ночную освещенность (ЕНО) в безлунную ночь при безоблачном небе, является все тот же солнечный свет, отраженный от больших и малых планет, скопления звезд, туманностей, а также свечение кислорода и азота в верхних слоях атмосферы на высоте 100—300 км, воспринимаемое адаптированным человеческим глазом. Спектральный состав этого излучения, называемого **звездным светом,** показан на рис. 5, где отчетливо наблюдается смещение максимума в невидимую ближнюю ИК-область.

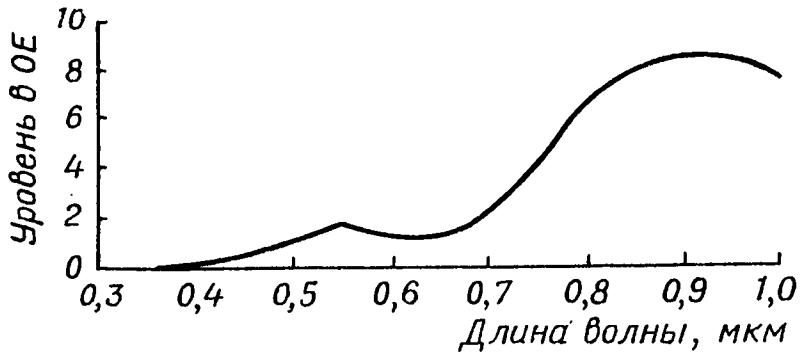


Рис. 5. Спектральное излучение небесного свода ночью

Несколько иная картина имеет место в лунную ночь при безоблачном небе, когда ЕНО, создаваемая отраженным от Луны солнечным светом, ослабленным в 10^5 раз, составляет около 0,3 лк в полнолуние. Тем не менее при лунном освещении появляется возможность наблюдения за счет аппарата сумеречного зрения. В этом случае наблюдение в оптические приборы, особенно светосильные, существенно улучшает видимость удаленных предметов, хотя отсутствие цветоразличения делает наблюдение недостаточно информативным с точки зрения выявления характера местности и населяющих ее объектов. «Ночью все кошки серы...» — гласит народная пословица, метко характеризуя особенность видения в ночное время. Тем не менее лунные ночи использовались и будут использоваться для ведения боевых операций, несмотря на недостаточную освещенность, которая является благоприятной для ближнего наблюдения и неблагоприятной для дальнего.

В связи с этим представляет интерес величина ЕНО, создаваемая светом Луны в течение месяца от полнолуния к минимуму и обратно (рис. 6). Из графика следует, что

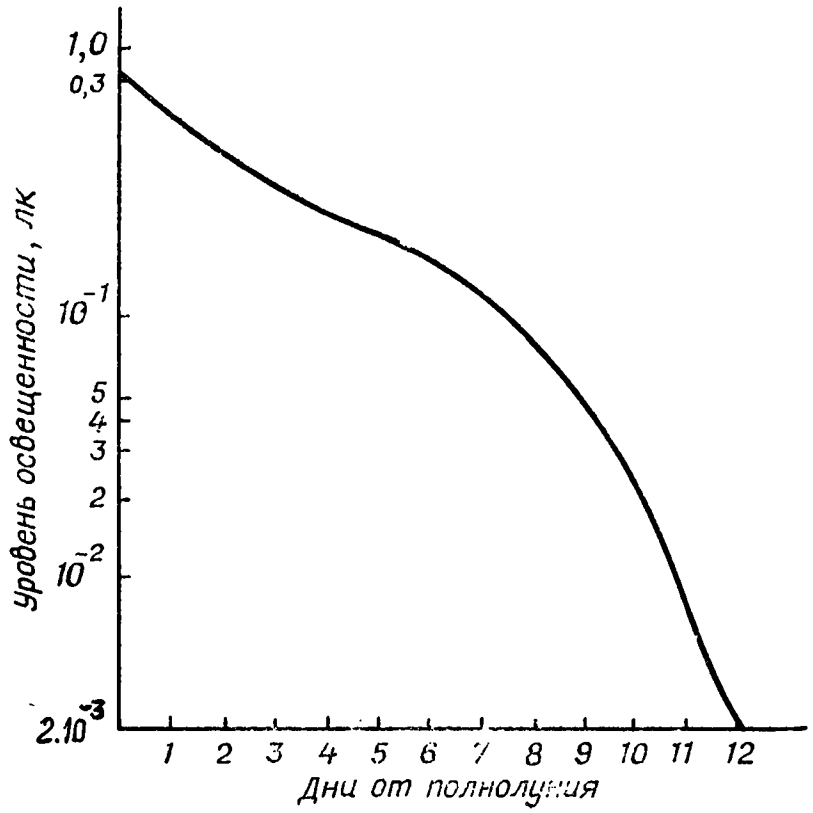


Рис. 6. Изменение ЕНО, создаваемой Луной в зависимости от ее фазы (возраста)

наибольшая освещенность (около 0,3 лк) имеет место в полнолуние, а наименьшая (0,002 лк) — на 12-ю ночь. Затем в течение одного-двух дней Луна не видна, так как ее диск находится вблизи Солнца. Далее происходит нарастание освещенности по той же кривой, но в обратном направлении. По В. В. Шаронову, лунный месяц разделяется по уровню освещенности на четыре части каждая длительностью около недели:

I часть — перед новолунием, когда ночи очень темные;

II часть — первая четверть, когда Луна светит только по вечерам;

III часть — когда Луна светит всю ночь с максимальной яркостью;

IV часть — последняя четверть, когда Луна светит лишь в предрассветные часы.

Освещенность, создаваемую светом Луны и звезд, называют **остаточной.**

Известно, что спектральный максимум чувствительности глаза человека приходится на длину волны 0,55 мкм при солнечном освещении, а при пониженной освещенности в сумерки смещается в сторону более коротких волн до 0,51 мкм (см. рис. 2), в то время как максимум ЕНО по спектру имеет тенденцию к смещению в сторону длинных волн. Это несоответствие, определенное природой, и побудило ученых к поиску средств, позволяющих видеть в темноте, начиная с опыта Гершеля, обнаружившего невидимое тепловое излучение еще в 1800 г., и открытия Ампера, высказавшего мысль, что невидимые лучи распространяются, отражаются и интерферируют так же, как и видимые лучи, от которых они отличаются только длиной волны. В 1869 г. тепловым лучам по предложению Э. Беккереля было присвоено наименование «инфракрасные» в отличие от другого также невидимого излучения — ультрафиолетовых (УФ) лучей, открытых в 1801 г. немецким ученым И. Риттером.

Однако ультрафиолетовый спектр не используется для ночного видения из-за сильного поглощения УФ-излучения атмосферой и многими другими оптическими средами, в то время как ИК-лучи довольно хорошо пропускаются атмосферой и обладают рядом физических свойств, позволяющих использовать их как в качестве средств подсветки целей (ИК-прожекторов) в активных ПНВ, так и для создания преобразователей для наблюдения изображения целей в ИК-лучах.

Возможность наблюдения объектов как в дневное время, так и в ночных условиях определяется величиной контраста. Для невооруженного глаза в условиях ЕНО менее 0,3 лк такая возможность отсутствует, так как спектральная чувствительность глаза не простирается в ближнюю ИК-область. Между тем в этой области наблюдается эффект повышения контраста за счет резких градаций в отражательной способности ряда различных материалов, составляющих природный фон Земли. Так, приведенные на рис. 7 кривые показывают, что отражательная способность

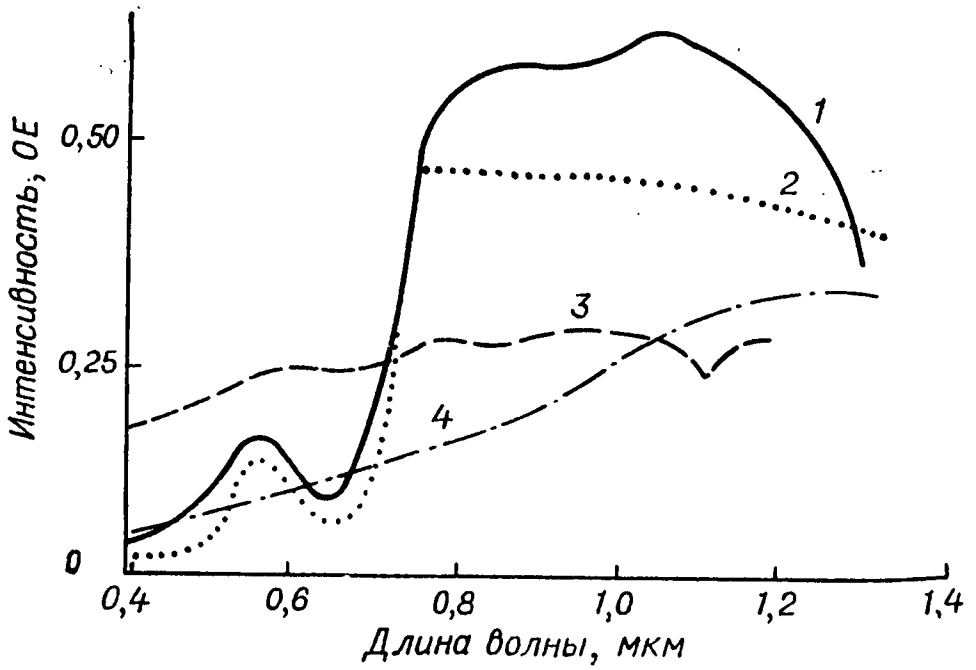


Рис. 7. Спектральные характеристики отражения природных материалов:
1 — листва деревьев; *2* — трава; *3* — гравий; *4* — кора деревьев

ряда природных фонов, таких, как трава и листва деревьев, резко возрастает со смещением в область более длинных волн, в то время как кора деревьев и гравий сохраняют величину отражательной способности постоянной. Это создает контраст, обеспечивающий возможность наблюдения картины, но, к сожалению, в области, недоступной зрению человека. Такой же эффект наблюдается при поиске, например, такого образца вооружения, как танк на фоне местности, когда коэффициент отражения танка, как и другого объекта, сделанного руками человека, сохраняет свою величину в широком интервале длин волн, в то вре-

мя как отражательная способность фона увеличивается, чем и достигается необходимый для обнаружения в этом спектральном интервале контраст (рис. 8).

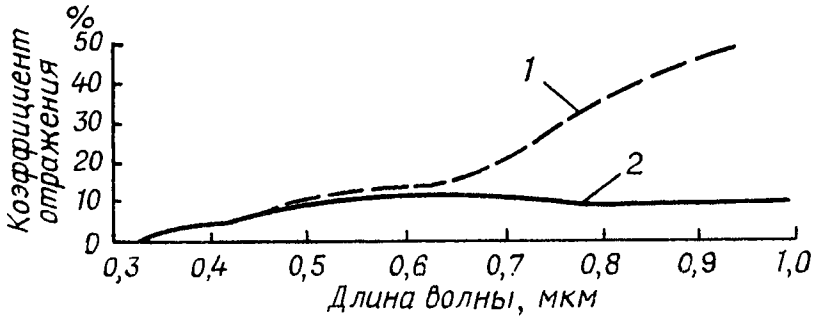


Рис. 8. Отражательная способность танка и фона:
1 — средняя отражательная способность фона; *2* — отражательная способность танка

В наиболее тяжелых для наблюдения условиях (в пасмурную погоду, ночью, когда небо закрыто плотным слоем облаков) облучение цели ИК-лучами, конечно, помогло бы обнаружить цель за счет резкого подъема контраста в ИК-области, но, увы, спектральная чувствительность глаза, ограниченная длиной волны 0,76 мкм, не обеспечивает решение этой задачи.

Приведенные примеры показывают, что решение проблемы ночного видения всегда заключалось в создании прибора, чувствительного в области 0,75—0,9 мкм, с последующим преобразованием картины в этом диапазоне в диапазон длин волн, доступный глазу. Только в этом случае могла быть решена задача наблюдения целей в темноте. Прошло несколько десятилетий, и труды ученых и инженеров увенчались успехом: диапазон невидимых лучей, лежащий за красной границей видимого спектра, открытый Уильямом Гершелем почти 200 лет назад, стал обитаем.

2. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ

2.1. Электронно-оптические преобразователи (ЭОП) приборов ночного видения (ПНВ)

Выдающийся советский физик С. И. Вавилов популярно и вместе с тем глубоко научно объяснил, почему глаз человека не способен видеть ни ультрафиолетовых лучей короче 0,4 мкм, ни инфракрасных длиннее 0,7 мкм, т. е. в спектральных областях, лежащих за пределами кривой видности глаза человека, в том числе и адаптированного. При этом область, лежащая за длиной волны 0,7 мкм и являющаяся по спектральному составу и освещенности наиболее благоприятной, недоступна нашему зрению, так как, указывает С. И. Вавилов, «...причина этого кроется в самом механизме зрения. Он неизвестен до сих пор, но во всяком случае можно утверждать, что зрение должно начинаться либо химическими действиями света, либо фотоэлектрическими (вырывание электронов из молекул). Для осуществления и фотохимических и фотоэлектрических процессов нужна, однако, энергия, которая не может быть меньше некоторой минимальной величины, иначе нельзя разорвать молекулу или оторвать от нее электрон». Весьма возможно, что написанная им еще в 1932 г. книга «Глаз и Солнце» определила направление путей поиска решения проблемы ночного видения. Ведь только фотоэлектрические приемники, принцип действия которых основан на **отрыве электрона** под действием излучения (внутренний фотоэффект), позволили в конечном счете перейти к созданию электронно-оптического преобразователя, а затем и прибора ночного видения.

В книге Ж. Леконта «Инфракрасное излучение», изданной в 1949 г. в Париже, отмечалось, что «...секреты изготовления флуоресцирующих экранов, и особенно полупро-

зрачных светочувствительных слоев, держатся в строгой тайне».

Схема электронно-оптического преобразователя для визуальной регистрации невидимого изображения довольно проста (с современной точки зрения). В вакуумном стеклянном цилиндре (рис. 9) на один из торцов (назовем его входным) наносится полупрозрачный светочувствительный слой из окиси серебра, очувствленной цезием (кислородно-цезиевый серебряный фотокатод), с выведенным наружу проводником. Противоположный торец покрывается изнутри слоем люминофора, на который наносится полупрозрачный металлизированный экран, соединенный с проводником, выведенным наружу. Если на фотокатод такого преобразователя, называемого стаканом Холста, направить поток ИК-лучей или сфокусированное объективом изображение какого-либо предмета в ИК-лучах, то его кванты вырывают из фотокатода электроны, которые под действием ускоряющего поля, создаваемого высоким напряжением, направляются к экрану, где в месте соударения электронов с люминофором возникает свечение, наблюдаемое глазом.

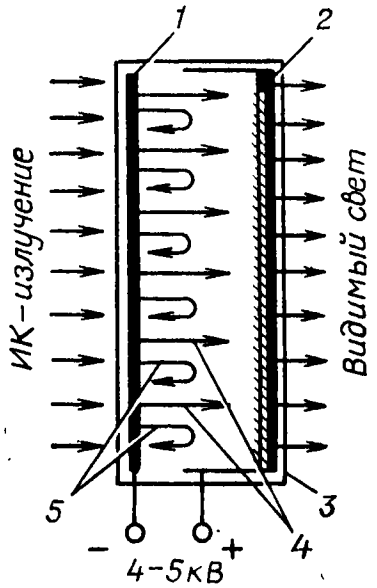


Рис. 9. Стакан Холста:

1 — фотокатод; *2* — металлизированный люминесцентный экран; *3* — стеклянный цилиндр; *4* — поток электронов; *5* — электроны, не получившие достаточного ускорения

Таким образом, процесс преобразования ИК-излучения в видимое происходит по следующей схеме: высвобождение электрона из светочувствительной мишени (фотокатода) в результате ее взаимодействия с фотоном ИК-излучения — перенос электрона к экрану электрическим полем — люминесценция, обратный эффект, в котором электрон, бомбардирующий люминесцентный экран, создает фотон. Этот процесс, называемый двойным преобразованием, выражается таким образом: $h\nu_1 \longrightarrow e \longrightarrow h\nu_2$, где $h\nu_1$ и $h\nu_2$—энергии падающего и вылетающего фотонов с частотами ν_1 и ν_2; h — постоянная Планка, равная $6{,}626 \cdot 10^{34}$ Дж·с.

Прибор такого рода называется электронно-оптическим преобразователем. Однако электронно-оптический преобразователь (ЭОП), применяемый в приборах ночного видения (ПНВ), представляет собой довольно сложный элек-

тровакуумный прибор, созданный путем эволюции стакана Холста. Дело в том, что в стакане Холста происходит прямой перенос электронов с фотокатода на экран, хотя в действительности имеет место разлет электронов, поэтому изображение в ИК-лучах, спроецированное на фотокатод, получается нечетким на экране. Так как оптическое преобразование должно обладать высокой четкостью, современный преобразователь в результате работ, проделанных за рубежом такими учеными, как фон Арденне, В. К. Зворыкин, а в Советском Союзе П. В. Тимофеевым, М. М. Бутсловым, существенно отличается от ЭОП, созданных в 30-е годы.

Прежде всего в стакане Холста отсутствовала фокусировка электронов, осуществляемая в современных ЭОП электронной линзой, действующей аналогично линзам, применяемым в оптике. В ЭОП фон Арденне и Зворыкина фокусировка электронного пучка производилась с помощью фокусирующих колец, к которым прикладывалось постоянное напряжение от высоковольтного источника тока через делитель напряжения (рис. 10). Фокусирующие коль-

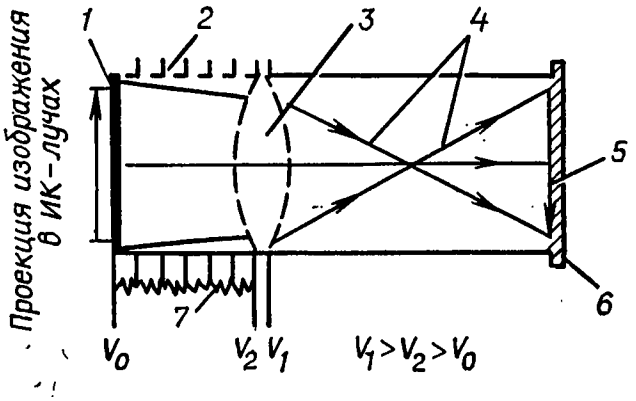


Рис. 10. Принцип действия ЭОП с электростатической фокусировкой:

1 — фотокатод; *2* — фокусирующие кольца; *3* — символическое изображение электронной линзы; *4* — траектории электронов; *5* — люминесцентный экран и изображение объекта; *6* — анод; *7* — делитель напряжения

ца образовывали эквипотенциальные поля, напоминающие по распределению в них напряжения линзу, вследствие чего такой вид фокусировки стал называться **электронной линзой** в отличие от другого способа фокусировки, осуществляемого с помощью магнитного поля, образующего магнитную линзу. Магнитное поле создавалось постоянными кольцевыми магнитами или катушками индуктивности,

расположенными в виде колец на корпусе ЭОП. В технике ночного видения применяются ЭОП с электростатической фокусировкой, так как постоянные магниты громоздки, а электромагниты требуют расхода энергии на их питание, это приводит к увеличению габаритных размеров и массы ПНВ и повышает их энергопотребление, что особенно нежелательно для переносных ПНВ.

Реальные ЭОП, применяемые в ПНВ, — это довольно сложные в конструктивном и технологическом отношениях электровакуумные приборы (рис. 11). Физические процес-

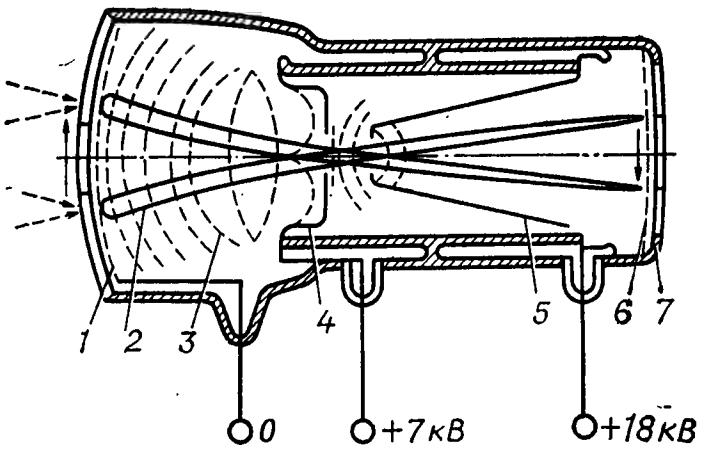


Рис. 11. Электронно-оптический преобразователь с электростатической фокусировкой:

1 — фотокатод; *2* — электронные лучи; *3* — эквипотенциальные поля, образующие электронную линзу; *4* — фокусирующий электрод; *5* — анод; *6* — экран; *7* — колба

сы, происходящие в них, практически не отличаются от описанных выше, с той лишь разницей, что ЭОП со сферическим фотокатодом представляет собой отработанный образец, пригодный для использования в различных областях техники, в том числе и в военной (во время второй мировой войны ЭОП такого типа оснащались ночные наблюдательные приборы и прицелы активного типа с подсветкой цели ИК-прожектором).

Процесс преобразования в этом ЭОП, называемом по современной терминологии **трубкой нулевого поколения,** начинается с вылета фотоэлектронов из катодного слоя при проецировании на него ИК-излучения. Количество освобожденных фотоэлектронов зависит от плотности и интенсивности излучения на фотокатоде, а их поток в целом оказывается промодулированным в пространстве той картиной, какая была заложена в потоке излучения, воспринятом объективом. Ускорение вылетевших из фотокатода

фотоэлектронов происходит под действием электрического поля, образованного высоким напряжением, приложенным к экрану трубки: фотоэлектроны получают энергию. Под действием фотоэлектронов, бомбардирующих экран, возникает свечение люминофора экрана, но уже в видимой области, которое можно наблюдать невооруженным глазом. При этом изображение на экране по распределению светлых и темных мест отвечает картине, спроецированной на фотокатод, но по энергетическим характеристикам интенсивность на выходе трубки (экране) будет в 20—50 раз больше, чем интенсивность излучения на ее входе. Такое усиление называется фотонным, т. е. световым.

Трубки нулевого поколения обладают незначительным усилением, что объясняется недостаточной эффективностью входного фотокатода Ag—O_2—Cs, тепловой эмиссией электронов из фотокатода, создающей паразитную засветку на экране (фон), а также невысокой светоотдачей материала экрана. По этой причине трубки нулевого поколения нельзя использовать в ПНВ для наблюдения в ночных условиях без постороннего источника подсветки — ИК-прожектора, так как естественная ночная освещенность крайне незна-

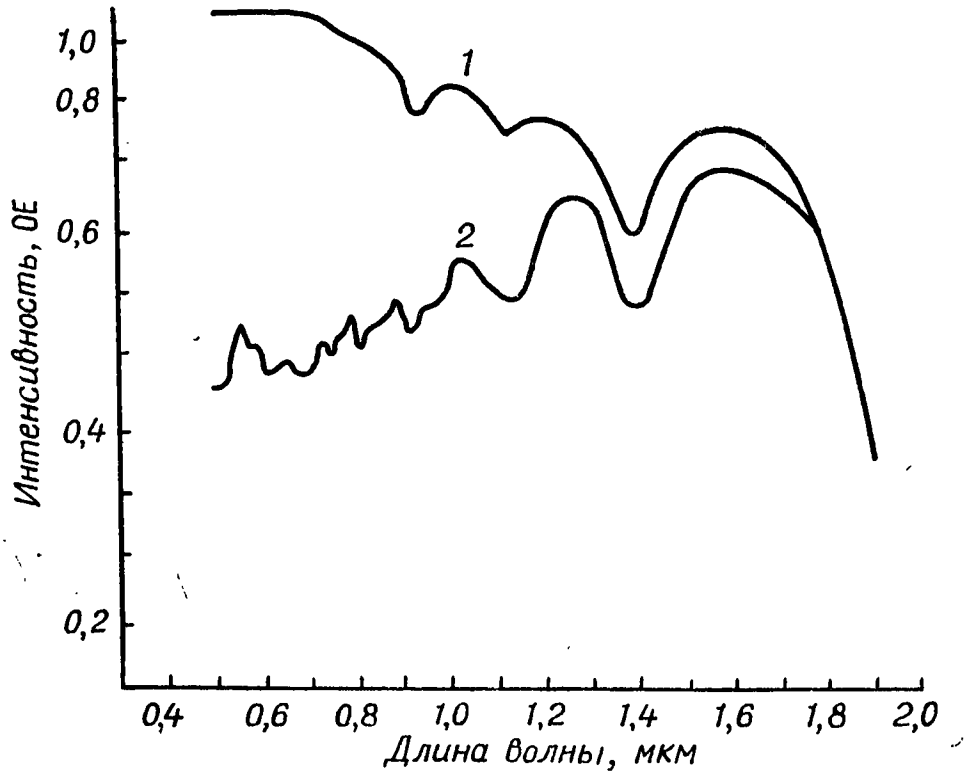


Рис. 12. Спектральные характеристики излучения в ночное время:

1 — лунный свет; *2* — звездный свет

чительна (при Луне 0,1 лк, а при свете звезд в безлунную ночь всего 0,001 лк), хотя спектр ЕНО (рис. 12) ближе к спектральной чувствительности фотокатода, чем спектральная чувствительность глаза (рис. 2).

Трубки нулевого поколения стали основой создания активных ПНВ, положительным качеством которых является независимость от величины ЕНО, что обеспечивает возможность их применения в условиях полной темноты: в закрытых помещениях, глубоких траншеях, подземных сооружениях.

Принцип действия активного ПНВ показан на схеме рис. 13. В ухудшенных условиях видимости — дождь, ту-

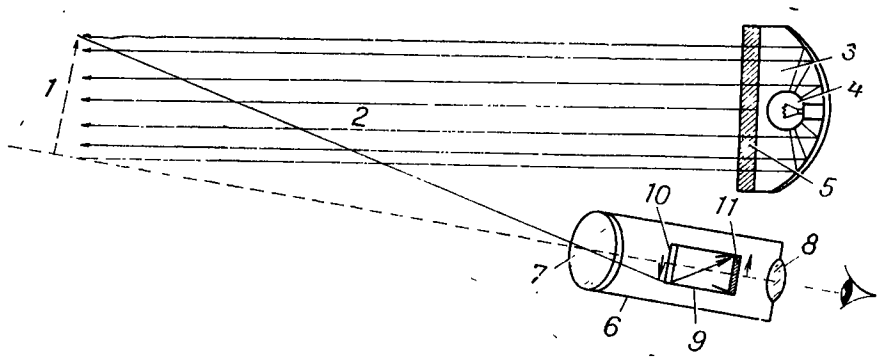


Рис. 13. Схема работы ПНВ нулевого поколения:

1 — объект наблюдения; *2* — поток ИК-лучей; *3* — ИК-прожектор; *4* — лампа накаливания; *5* — ИК-фильтр; *6* — электронно-оптический прибор; *7* — объектив; *8* — окуляр; *9* — электронно-оптический преобразователь; *10* — фотокатод; *11* — люминесцентный экран

ман, снегопад — дальность наблюдения в активные ПНВ резко сокращается, так как капли дождя, хлопья снега и частицы тумана отражают излучение ИК-прожектора, создавая так называемую обратную засветку на фотокатоде ЭОП прибора.

Несмотря на существенные недостатки активных ПНВ, их техническое совершенствование продолжалось и в послевоенные годы, когда в начале 50-х годов был разработан новый кислородно-цезиевый серебряный фотокатод S1 с характеристиками, приведенными на графике рис. 14. Как следует из кривой радиационной чувствительности, фотокатод S1 имеет два максимума: первый — в диапазоне 0,35 мкм, не используемый в технике ночного видения, второй — на длине волны 0,8 мкм в ближней ИК-области, т. е. как раз именно в той области, где наблюдается подъем спектральной характеристики излучения ночного неба. Од-

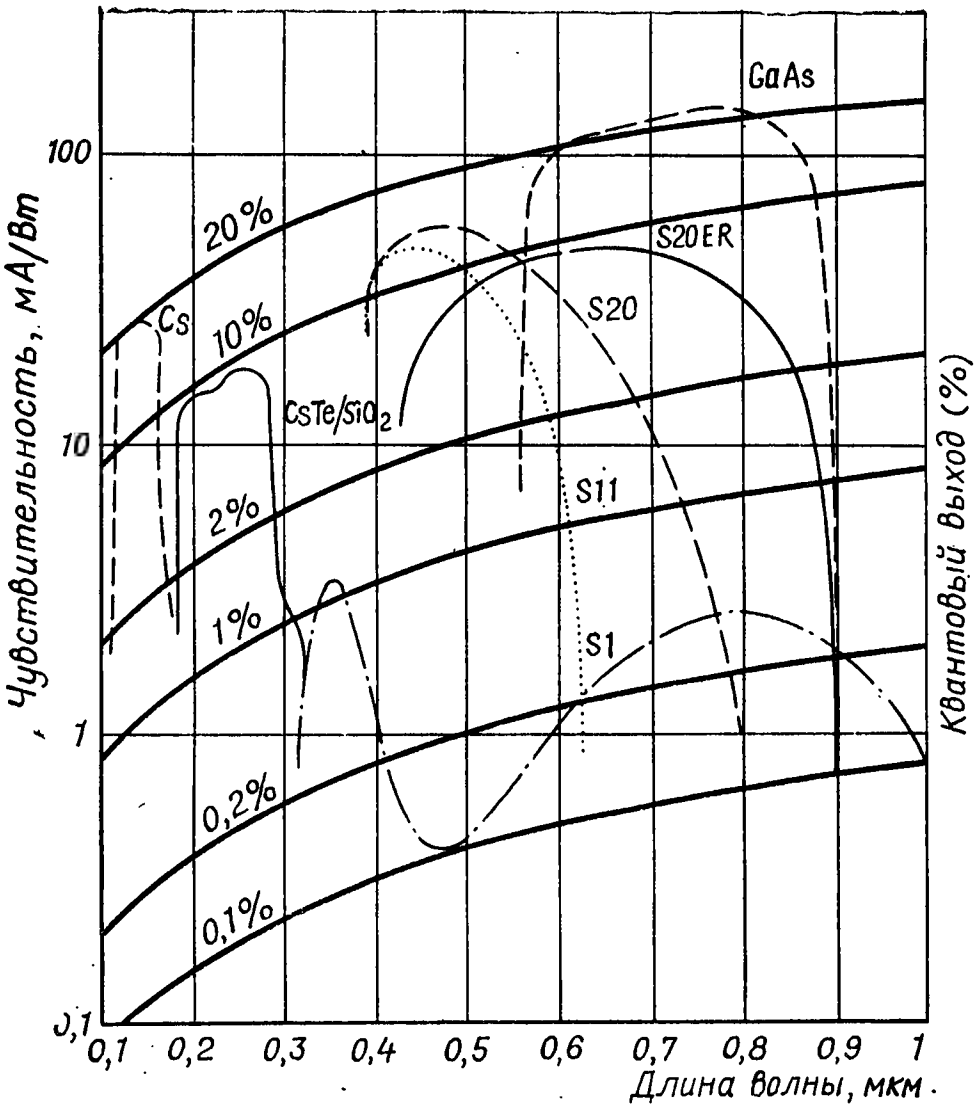


Рис. 14. Характеристики фотокатодов, применяемых в электронно-оптических преобразователях ПНВ

нако незначительная величина радиационной чувствительности — немногим более 2 мА/Вт — и малый квантовый выход — около 0,4% — не обеспечивали возможность наблюдения объектов при естественной ночной освещенности. В результате ЭОП с этим фотокатодом нашел применение в новых улучшенных образцах активных ПНВ с большей чувствительностью, но по-прежнему использующих активный метод подсветки целей, что исключает скрытность и внезапность открытия огня, так как активные ПНВ с включением ИК-прожектора легко обнаруживаются противником. Поэтому активный способ, сыгравший большую роль в становлении и развитии техники ночного

видения, уступил, в конце концов, место новому направлению — пассивным ПНВ, действующим в условиях ЕНО без применения ИК-прожекторов за счет усиления слабого рассеянного излучения, отраженного от небесных светил.

Переход на новые принципы ночного видения был необходим еще и потому, что активные приборы не обеспечивают возможность разведки и ведения прицельного огня из оружия на тактических дальностях, соответствующих огневым возможностям оружия, а также вследствие недостаточной мобильности из-за значительных габаритных размеров и массы аппаратуры активных ПНВ, особенно ИК-прожекторов и источников тока для их питания.

Несмотря на появление нового поколения ПНВ, активные приборы продолжают оставаться на вооружении армий многих стран мира, что объясняется большими затратами на их приобретение; кроме того, активные приборы вполне пригодны для решения многих тактических задач, таких, например, как боевые действия в полной темноте, стрельба по активным источникам излучения — лазерным локаторам и дальномерам, открытым источникам света.

Основой создания пассивных ПНВ послужил все тот же электронно-оптический преобразователь, основными элементами которого служат фотокатод, фокусирующая система и экран. Люминесцентный экран, главными характеристиками которого являются светоотдача и высокая разрешающая способность, был отработан достаточно полно и резервов на улучшение не имел. Ускоряющее напряжение и электронная линза также не сулили большого успеха при модернизации, поэтому основные усилия по повышению чувствительности ЭОП были направлены на создание фотокатода с повышенной квантовой эффективностью из новых материалов. Поиски новых материалов привели почти одновременно с разработкой фотокатода S1 к новому фотокатоду S11 на основе щелочноземельных металлов — калия, натрия и цезия с добавкой сурьмы, в результате чего удалось повысить квантовый выход по сравнению с S1 почти в 3 раза. Несмотря на это, S11 не нашел применения в ЭОП, так как его спектральная характеристика имеет максимум в области длины волн 0,4—0,6 мкм, не представляющей интереса для ночного видения (рис. 14). В то же время этот фотокатод отличался от фотокатодов кислородно-цезиевого типа незначительной величиной термоэлектронной эмиссии при температуре выше нуля градусов, в то время как кислородно-цезиевый фотокатод обеспечивал высокую эффективность и отсутствие

теплового шума только при охлаждении, что было совершенно неприемлемо для переносных приборов.

В результате интенсивных работ на основе фотокатода S11 удалось создать новый фотокатод S20 многощелочного типа, не требующий охлаждения и в то же время обладающий высоким квантовым выходом в спектральной области, обеспечивающей возможность работы ПНВ в условиях ЕНО. Последующие улучшения привели к разработке других многощелочных фотокатодов — S20ER и S25, на основе которых выросло новое поколение ЭОП, удовлетворяющее условиям работы в спектральной области, лежащей за длиной волны 0,7 мкм, с целью использования этой наиболее эффективной области для работы ПНВ с усилением яркости изображения, обеспечивающих возможность создания пассивных приборов, работающих в условиях ЕНО без подсветки.

В те же годы были достигнуты успехи в разработке и изготовлении волоконно-оптических пластин (ВОП) для замены стеклянных входных и выходных окон в ЭОП. ВОП, состоящие из микроскопических волоконных стеклянных световодов, способных передавать изображение с большой четкостью, позволили применить сферические катоды и экраны, существенно упростившие элементы фокусирующих систем и обеспечившие высокую разрешающую способность передачи изображения.

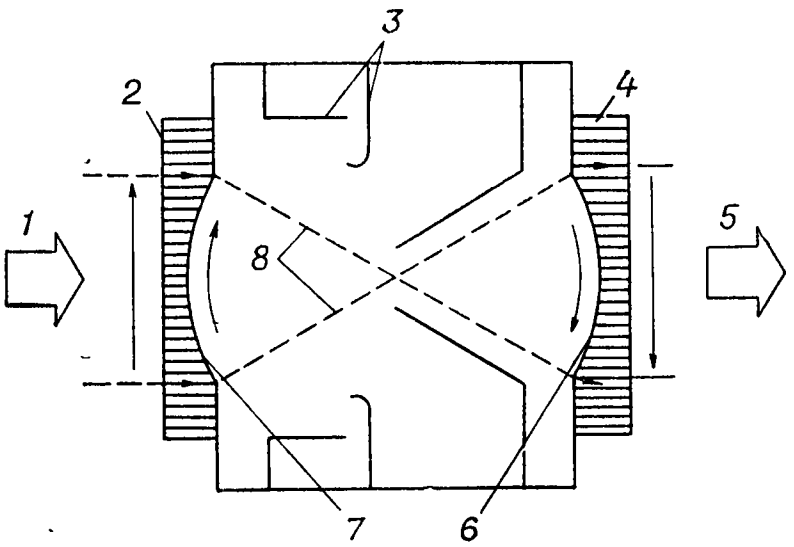


Рис. 15. Модульный ЭОП нулевого поколения:

1 — ИК-излучение; *2* — волоконно-оптическое входное окно; *3* — фокусирующие электроды; *4* — волоконно-оптическое выходное окно; *5* — видимое излучение; *6* — фосфорный экран; *7* — фотокатод; *8* — пучки электронов

В результате интенсивных разработок были созданы ЭОП-трубки модульной конструкции с фотокатодами и экранами диаметром 18, 25 и 40 мм (рис. 15). Новые трубки являются переходом от технологии ПНВ активного типа к пассивным ПНВ, использующим усиление яркости изображения. Изображенная на рис. 15 трубка представляет собой однокамерный преобразователь или однокамерную трубку. Ускоряющее напряжение такой трубки 15 кВ. Ее конструкция на первый взгляд довольно проста, но для того чтобы ее осуществить, потребовалось не одно десятилетие исследований в самых различных областях. По сравнению с ЭОП, разработанным Зворыкиным, новая трубка представляется чудом технологии, чем она и является на самом деле.

Промышленный образец трубки ХХ1080 при внутреннем увеличении (катод — экран) меньше единицы обеспечивает коэффициент усиления около 80, что делает возможным наблюдения в ПНВ на ее основе только в лунную ночь, да и то в том случае, когда рассматриваемый предмет находится на открытом месте. В менее благоприятных условиях прибор с такой трубкой не обеспечивает решение задач ночного видения, поэтому начались поиски новых путей с целью достижения коэффициента усиления не менее 10 000. Одним из таких путей стал простой на первый взгляд, но весьма сложный в технологическом отношении способ каскадного усиления, реализованный в фотоумножителях. Так, сосдиняя выходной экран одной модульной трубки с вход-

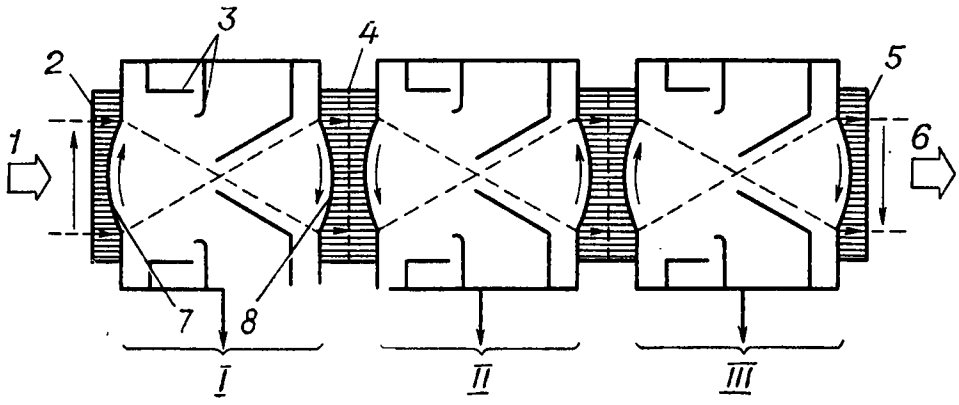


Рис. 16. Трехкамерный ЭОП из трех усилителей, соединенных световолокном:

1 — ИК-излучение; *2* — волоконно-оптическое входное окно; *3* — фокусирующие электроды; *4* — волоконно-оптическая соединительная плата; *5* — волоконно-оптическое выходное окно; *6* — свет (выход); *7* — фотокатод; *8* — фосфорный экран; *I* — первая ступень; *II* — вторая ступень; *III* — третья ступень

ным фотокатодом другой, можно (при условии хорошего оптического контакта) получить значительное усиление яркости спроецированного на входной фотокатод первой трубки слабо освещенного изображения. ЭОП (трубка) такого вида называется двухкамерным или однокаскадным, так как первая камера является преобразователем ИК-изображения в видимое, а вторая — каскадом усиления яркости изображения. Трехкамерный преобразователь (рис. 16) носит название двухкаскадного, так как имеет два каскада усиления. Коэффициент усиления повышается с числом каскадов: если однокамерная трубка-преобразователь имеет коэффициент усиления около 80, то двухкамерная с усилителем яркости изображения (УЯИ) в виде одной камеры — уже 4000. Трехкамерная трубка имеет коэффициент усиления порядка 50 000, что дает возможность реализовать на ее основе ПНВ для наблюдения ночью в условиях ЕНО без подсветки целей ИК-прожектором, т. е. абсолютно пассивное наблюдение, ничем себя не демаскирующее. Сравнительные характеристики усилителей яркости I поколения приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Характеристики усилителей яркости I поколения

Характеристика	Тип усилителя		
	однокамерный	двухкамерный	трехкамерный
Коэффициент усиления	80	4000	50 000
Разрешающая способность, лин/мм	65	40	25
Искажения, %	6	14	17
Полезное поле на выходе (диаметр), мм	25	24	23

Таким образом, трехкамерный преобразователь положил начало новому, I поколению ПНВ пассивного типа. В отличие от активных ПНВ нулевого поколения новое поколение пассивных ПНВ получило название **ПНВ I поколения.**

Хотя УЯИ I поколения в новых ЭОП позволяют более полно использовать спектральный состав излучения ночного неба путем высокого коэффициента усиления, которое

в трубках ТН9303 достигает 80 000, дальнейшее их совершенствование оказалось ограниченным величиной флюктуации фотонов, препятствующей дальнейшему повышению усиления путем увеличения ускоряющего напряжения в каскадах усиления. К тому же принцип каскадного усиления яркости изображения имеет и другой недостаток — снижение разрешающей способности от каскада к каскаду. Например, каждая ступень трубки ТН9303 обладает предельным разрешением 80 лин/мм, в то время как разрешение на выходе трубки (трехкамерной трубки) составляет около половины этой величины.

Серьезным недостатком этой технологии является также высокая чувствительность каскадных усилителей яркости к слепящим засветкам, вызванным вспышками встречных выстрелов, светом фар и прожекторов, факелами осветительных и сигнальных ракет, попадающих в их поле зрения, когда происходит так называемое **свертывание изображения,** приводящее к потере видимости. Тем не менее, несмотря на некоторую громоздкость, вызванную значительными габаритными размерами трубок и массой приборов в целом, что ограничивает их широкое использование в качестве прицелов к легкому оружию и ручных наблюдательных приборов, ПНВ I поколения, обладающие высокой чувствительностью и низким уровнем шума, нашли применение в качестве прицелов к тяжелому оружию и наблюдательных приборов дальнего действия и состоят на вооружении армий многих стран мира. Эксперт и консультант армии США по вопросам техники ночного видения Джордж Томсон выступил в конце 1986 г. со статьей в журнале «Милитари Текнолоджи» в защиту ПНВ I поколения:

«Несмотря на то что приборы I поколения не используют достижения современной технологии, как приборы II и III поколений, их применение оправдано в ряде ситуаций и может оказаться даже предпочтительным в сравнении с модернизированными системами. В условиях достаточной освещенности на фотокатоде усиление в приборах I поколения может достигать 100 000. Кроме того, с помощью приборов I поколения в ряде случаев удается достигнуть лучших результатов, несмотря на искажения и виньетирование изображения в каждом каскаде, а также послесвечение фосфорного экрана вследствие увеличенного пробега электронов в каскадах, что особенно ощутимо при наблюдении сцен с большой яркостью. Источники высокой яркости в поле зрения волоконных пластин между каскадами

вызывают избыточную яркость в межкаскадных процессах преобразования, приводящую к размыванию изображения и потере четкости. Тем не менее для наблюдения на большие дальности со стационарных оснований приборы I поколения следует считать наиболее подходящими. Кроме того, эти приборы экономичны при использовании в других системах. Например, некоторые фирмы США используют усилители фирмы «Варо» для своих прицелов в качестве дополнения к системам тепловидения» *.

Следующее поколение — **усилители II поколения** — появилось в середине 60-х годов и быстро было внедрено за счет использования нового механизма усиления и новой технологии, обеспечивших им высокие характеристики.

Толчком к поиску новой технологии послужили описанные выше недостатки УЯИ I поколения — чрезмерная величина яркости в условиях засветок и большие габаритные размеры трубок, обусловленные технологией, не изменившейся со времен ЭОП нулевого поколения.

Новая технология вместо каскадной системы УЯИ предложила способ умножения электронного потока, образованного воздействием внешнего излучения на фотокатод, взамен применявшегося в УЯИ I поколения способа сообщения фотоэлектронам ускорения путем приложения высокого напряжения. При этом электронный поток не подвергался фокусировке и проецированию на фосфорный экран, а прямо при вылете фотоэлектронов из фотокатода направлялся непосредственно на близлежащую пластину, называемую микроканальной и представляющую собой диск с огромным числом микроскопических каналов, являющихся фотоэлектронными умножителями, путем возбуждения в каналах эффекта вторичной электронной эмиссии аналогично процессу, имеющему место в различного рода фотоумножителях, применяемых в оптико-электронных приборах.

Микроканальная пластина, называемая сокращенно МКП (в зарубежной литературе — MCP), содержит 1 миллион 760 тысяч микроскопических каналов (5000 на 1 мм^2) диаметром 12 мкм каждый. Конечно, геометрические размеры и число микроканалов варьируются в широких пределах в зависимости от назначения.

Принцип действия УЯИ на МКП приведен на рис. 17, где наглядно показан процесс размножения электронов, происходящий в микроканале. При попадании первичного

---

* Military Technology. 1986. V. 10. No 7. P. 98—108.

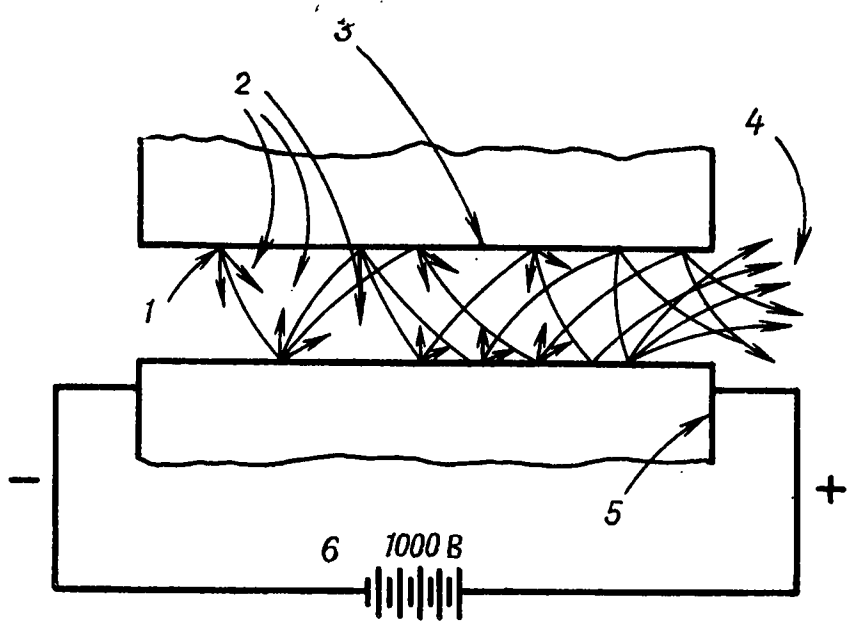


Рис. 17. Процесс умножения электронов в микроканале:
1 — первичный электрон; *2* — вторичные электроны; *3* — стенка микроканала; *4* — лавина электронов на выходе; *5* — электрод; *6* — источник напряжения

электрона, вылетевшего из фотокатода, на внутреннюю поверхность микроканала, состоящую из полупроводникового материала, возникает некоторое количество вторичных электронов, которые, ударяясь о стенки, вызывают лавинный процесс умножения, в результате чего при соударении электронного потока с экраном возникает свечение, яркость которого в десятки тысяч раз превышает яркость ИК-излучения на фотокатоде трубки. Источником энергии, вызывающим лавинный процесс умножения, является электрическое поле, образованное приложенным к экрану и МКП высоким напряжением. При этом необходимо отметить, что приложенное здесь высокое напряжение (около 1 кВ) в десятки раз меньше напряжения, необходимого для питания камер УЯИ I поколения.

Длина канала МКП около 45 его диаметров. Каналы имеют наклон, чтобы вылетевший из фотокатода электрон не пролетел вглубь, а, ударяясь о край, отражался от него в виде множества, образуя лавинный процесс. В отличие от УЯИ I поколения ускоряющее напряжение вследствие незначительного промежутка между МКП и экраном создает однородное электрическое поле, что обеспечивает воспроизведение изображения после МКП без фокусировки, а это существенно сокращает осевую длину трубки. Так как коэффициент усиления не зависит от размера канала,

его диаметр выбирается в зависимости от заданной величины разрешающей способности, чтобы расстояние между центрами микроканалов составляло от 10 до 15 мкм. Уменьшение расстояния может улучшить разрешение, но тогда ухудшается прочность самой пластины, что недопустимо, так как трубки должны выдерживать большие нагрузки, связанные с ускорениями при стрельбе из оружия и при транспортировке ПНВ.

Более эффективным способом повышения разрешающей способности является использование увеличительной электронной оптики перед МКП, например 20/30, как это имеет место в стандартной трубке XX1380, за счет использования большого количества микроканалов в формировании изображения. Кроме того, в этом случае существенно уменьшается коэффициент шума.

Входное окно трубки с УЯИ II поколения представляет собой пластину из оптического волокна с нанесенным на внутреннюю сторону фотокатодом типа S20ER или S25, используемым в трубках с УЯИ I поколения. Люминесцентный экран трубки II поколения состоит из фосфора типа 10—52 (F2126), излучающего в области 0,55 мкм, отвечающей максимальной спектральной чувствительности глаза.

Существует два типа трубок УЯИ II поколения. Первый напоминает по конструкции однокамерный ЭОП нулевого поколения с фотокатодом и электронной фокусирующей линзой с той лишь разницей, что в трубке с УЯИ II поколения электронный поток с фотокатода поступает непосредственно на МКП, в то время как в трубке нулевого поколения он фокусируется электронной линзой на экран ЭОП. Усиленный микроканальной пластиной поток электронов ускоряется интенсивным однородным электрическим полем, образованным в узком вакуумном промежутке, и бомбардирует люминесцентный экран, на котором возникает видимое изображение. Такой усилитель (рис. 18) имеет усиление по световому потоку до 1000 раз при коэффициенте усиления от 10 000 до 50 000, что обеспечивает возможность создания ПНВ, действующих при низких уровнях ЕНО. Трубки такого вида выпускаются в различных модификациях: с одинаковыми диаметрами на входе и выходе— 18 или 25 мм и с отношением входного и выходного диаметров 20 : 30 или 50 : 40, т. е. с увеличением или уменьшением в зависимости от требований к разрешающей способности и полю зрения.

Второй тип усилителя II поколения использует перенос электронного изображения дважды: от фотокатода на вход

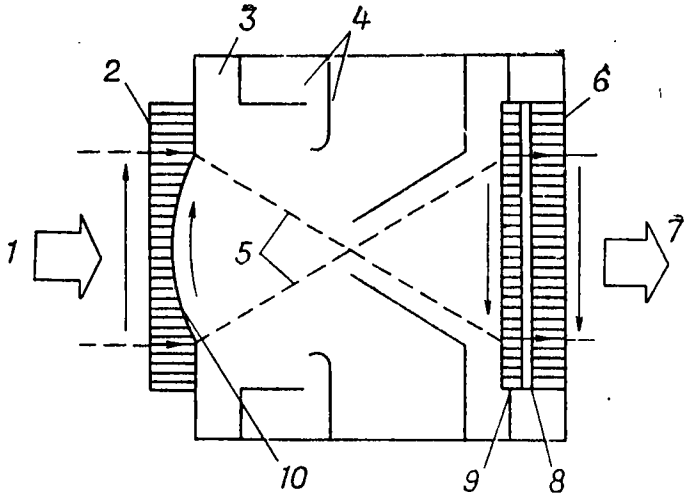


Рис. 18. Электронно-оптический преобразователь II поколения на МКП:

1 — ИК-излученне; *2* — волоконно-оптическое входное окно; *3* — вакуум; *4* — фокусирующие электроды; *5* — пучок электронов; *6* — волоконно-оптическое выходное окно; *7* — видимый свет; *8* — экран; *9* — микроканальная пластина (МКП); *10* — фотокатод

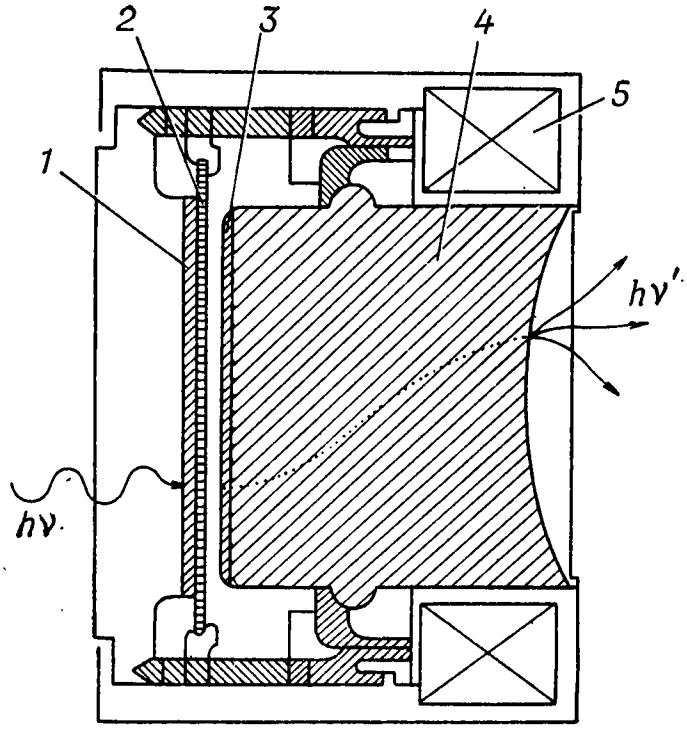


Рис. 19. Электронно-оптический преобразователь III поколения с фотокатодом на арсениде галлия:

1 — фотокатод; *2* — микроканальная пластина; *3* — экран; *4* — волоконно-оптический элемент поворота изображения на 180°; *5* — торондальиый источник питания

МКП и с выхода МКП на люминесцентный экран. Такой эффект достигается особыми приемами в технологии и конструкции трубки с помощью высокого вакуума (технология вакуумного переноса). Трубки, изготовленные по такой технологии, называются слоистыми и отличаются высокой компактностью. С помощью слоистой трубки изображение в ПНВ воспроизводится без искажений размеров входа и выхода, т. е. происходит только усиление яркости изображения. Разрез такой трубки показан на рис. 19. В случае необходимости трубка снабжается на выходе волоконно-оптическим элементом, обеспечивающим поворот изображения на 180°, что позволяет существенно уменьшить длину ПНВ. Поворотное устройство имеет малую осевую длину и небольшие потери в пропускании света.

Образец трубки с УЯИ II поколения ХХ1410 имеет диаметр 18 мм при коэффициенте усиления 10 000. Слоистые трубки легки, компактны и применяются в приборах, главным качеством которых является портативность, например в очках ночного видения. Слоистые трубки имеют осевую длину 40 мм и диаметр (с крепежными кольцами) 36 мм, в то время как длина трехкамерной трубки I поколения более 200 мм.

УЯИ II поколения обладают еще одним бесценным качеством: они менее чувствительны к засветкам от встречных выстрелов, факелов осветительных средств и сигнальных огней. При попадании светящегося тела в поле зрения ПНВ II поколения засветка носит локальный характер и возникает в пределах углового размера источника света, не создавая ореола, как в ПНВ I поколения. Что же касается дальности действия, то ПНВ II поколения обеспечивают наблюдение целей на дальности, превышающей дальность действия ПНВ I поколения в 1,5 раза в лунную ночь и в 1,8 раза в звездную.

Несмотря на успехи, достигнутые в совершенствовании ЭОП от ПНВ нулевого поколения с ИК-прожекторами до ПНВ с УЯИ пассивного типа, работы по созданию новых, более совершенных ЭОП продолжаются. В начале 80-х годов была закончена разработка нового, **III поколения УЯИ.** Новые трубки, так же как и трубки II поколения, в качестве УЯИ используют МКП. Новинкой в трубке III поколения является высокоэффективный фотокатод, основанный на отрицательном эффекте сродства элементов III и V групп периодической системы Менделеева, — цезиево-галлиевый арсенид, или, как его чаще называют, арсенид галлия. Арсенид галлия, используемый в качестве фотока-

тода, представляет собой монокристалл, обработанный цезием и кислородом, в результате чего фотоэлектроны, образующиеся при поглощении квантов света арсенидом галлия, достигают поверхности на границе с вакуумом в отличие от фотокатодов-предшественников (S20ER и S25), где большинству электронов не удавалось осуществить выход в вакуум, что уменьшало эмиссию и эффективность УЯИ в целом.

Преимущества нового фотокатода состоят в том, что при крайне низком уровне ЕНО, действующей на фотокатод, эмиссия фотоэлементов увеличивается почти в 4 раза по сравнению с фотокатодами II поколения за счет использования спектрального излучения с длиной волны около 0,9 мкм (рис. 20), что обеспечивает высокое разрешение

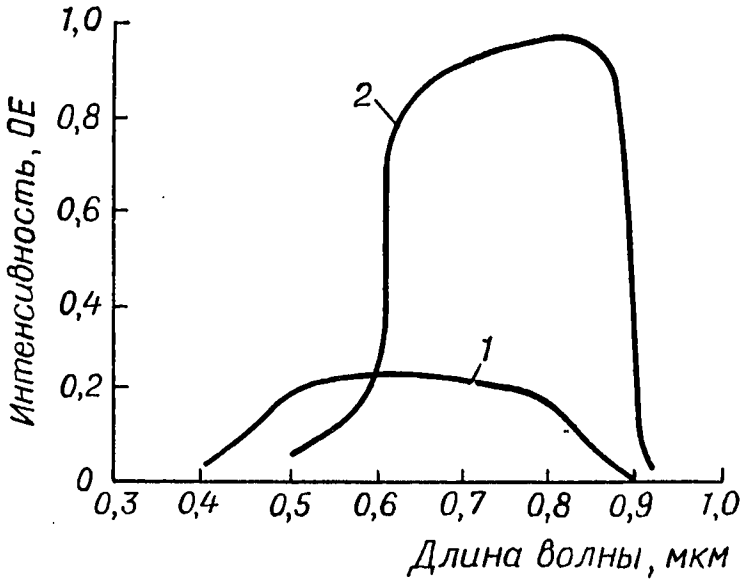


Рис. 20. Спектральные характеристики фотокатодов II (S20) и III (GaAs) поколений:
1 — S20; *2* — GaAs

целей в этой спектральной области, где контраст достигает максимальной величины, а значит, и увеличение дальности обнаружения и опознавания целей на природных фонах (рис. 21). ПНВ с усилителем III поколения отличается от ПНВ II поколения большей эффективностью фотокатода при освещенности 10^{-3} лк и менее за счет продвижения в область с длиной волны 0,9 мкм, в то время как ПНВ с УЯИ II поколения обеспечивают работу при более высоких освещенностях.

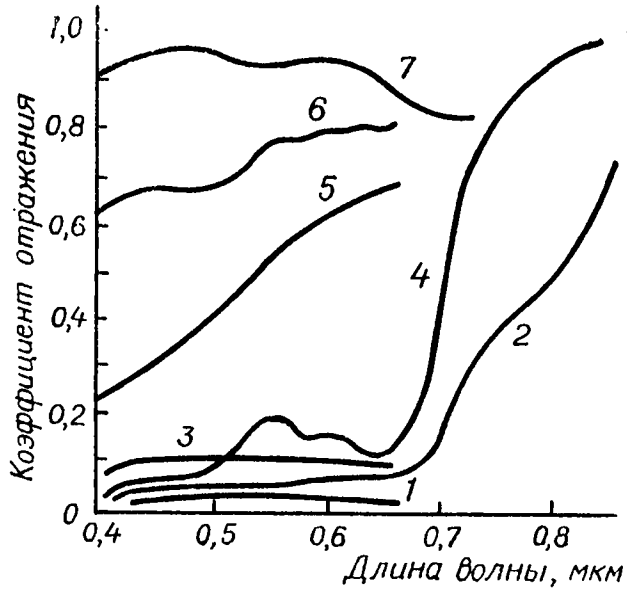


Рис. 21. Отражательная способность по спектру некоторых природных фонов:

1 — мокрый чернозем; *2* — высохшая степь; *3* — серые гранитные валуны; *4* — свежий зеленый луг; *5* — сухая глина; *6* — зимняя дорога; *7* — свежий снег

Сравнительные характеристики трубок II и III поколений приведены в табл. 2.2.

В УЯИ III поколения микроканальная пластина монтируется на расстоянии десятых долей миллиметра от фотокатода с ускоряющим напряжением около 1000 В, что обеспечивает высокую компактность трубки, а следова-

Таблица 2.2

Характеристики трубок II и III поколений

Характеристика	II поколение	III поколение
Тип фотокатода	S20ER	GaAs
Чувствительность, мкА/лм	275	1250
Интегральная чувствительность, мА/Вт, к потоку с длиной волны:		
0,83 мкм	20	100
0,88 мкм	7	70
Коэффициент усиления	7000—15 000	20 000—35 000
Отношение сигнал/шум	6,5 : 1	17 : 1
Разрешающая способность, лин/мм	28	36

тельно, и возможность использования ее в очках ночного видения. Трубка ТН9313, выпущенная фирмой «Томсон», имеет длину 30,4 мм и диаметр 36,8 мм и снабжена встроенным источником питания. Большую часть трубки занимает оборачивающая волоконная система, применяемая также и в трубках II поколения. Срок службы трубки ТН9313, а также разрабатываемых новых типов трубок с двойной фокусировкой несколько тысяч часов. Трубки III поколения, применяемые в очках для экипажа вертолета, дают возможность видения ночью почти в 100% случаев по времени в течение года, обеспечивая выполнение боевых операций более чем в 80% случаев при ЕНО, создаваемой светом звезд, в то время как ПНВ II поколения решают те же задачи и в тех же условиях с 30% надежностью.

Спектральные характеристики фотокатодов трубок II и III поколений приведены на графиках рис. 20, из сопоставления которых следует бесспорное превосходство трубок III поколения по чувствительности и обеспечению наблюдения в наивыгоднейшей спектральной области.

Температурный диапазон работы трубки ТН9313 достаточно широк: от минус 40 до +50° С. Высоковольтный источник питания, вмонтированный в корпус трубки, представляет собой преобразователь с входным напряжением 2—3,5 В от миниатюрного источника тока. Трубка снабжена автоматическим регулятором напряжения, который дает стабильную яркость на выходе в широком интервале освещенностей фотокатода, что обеспечивает защиту фотокатода и одновременно зрения наблюдателя от воздействия ярких источников света, попадающих в поле зрения ПНВ.

Описанные выше трубки с УЯИ III поколения выпускаются фирмой «Томсон» и входят в типоразмерный ряд, как и трубки ТН9303, предназначенные для использования в прицелах к вооружению БТТ с большой дальностью действия, трубки ТН9304 — для артиллерийских прицелов и бинокулярных приборов дальнего наблюдения, трубки ТН9311 — для водителей БТТ и трубки ТН9313 — для личного состава СВ и экипажей вертолетов.

По данным зарубежной печати, усилители яркости изображения III поколения применяются в пассивном бинокле М976, выпускаемом фирмой «Литтон». Аналогичными усилителями оснащены прицелы LNS90 к 5,56-мм и 7,62-мм винтовкам армии Великобритании.

Стремление США к максимальному оснащению армии

приборами ночного видения привело к значительному повышению цен на элементы ПНВ, и в первую очередь на трубки II и III поколений. При этом львиная доля расходов приходится на закупку весьма дорогих трубок III поколения, использующих для фотокатодов такой сложный в технологическом отношении материал, как арсенид галлия, поэтому ПНВ III поколения используются только для экипажей боевых вертолетов, а армейские подразделения рекомендуется снабжать ПНВ I и II поколений.

Разработкой УЯИ на арсениде галлия в США занималась фирма «Вариан», имеющая большой опыт производства ЭОП для пассивных ПНВ. Разработку новой 18-мм трубки III поколения эта фирма начала еще в 1968 г. Другая, конкурирующая с «Вариан» фирма «Варо» разрабатывала 18-мм и 25-мм трубки. Одно из отделений фирмы «Вариан» разработало 4 варианта УЯИ III поколения и 2 образца пассивных ПНВ. В трубках VLTA-238 используется новый тороидальный источник питания прибора вместо спирального. Этот преобразователь предназначается для авиационной системы ночного видения AVS6ANVIS, разработанной фирмой «Белл энд Хоуэлл». Входное окно преобразователя VLTA-238 изготовлено из оптического волокна, что существенно повысило светопропускание прибора.

Усилитель яркости фирмы «Вариан» (III поколения) используется в очках PVS-7. К участию в производстве очков привлечены две конкурирующие американские фирмы — «Белл» и «Хьюз». Фирма «Белл» предложила свой улучшенный вариант очков с уменьшенным полем зрения — 40 вместо 45 град. Одновременно эта же фирма разработала собственный образец очков VNVA-300, идентичный перспективному образцу PVS-8, а также ночной разведывательный прибор NNVA-310.

Несмотря на последние достижения в технологии производства УЯИ III поколения, их серийное производство для ПНВ предполагается начать не ранее 1990 г., поэтому в очках PVS-7 применяются пока трубки II поколения.

2.2. Низкоуровневые телевизионные приборы ночного видения (НУТВ)

Изобретение радиотелеграфии, а затем и радиотелефонии, завершившееся в начале XX в. высококачественной передачей на любые расстояния речи и музыки, не могло не вызвать к жизни нового чуда — телевидения (передачи

изображения на расстояние). Это произошло в довольно короткий срок, исчисляемый несколькими десятилетиями, когда от передачи сначала по проводам, а затем и через эфир простейших статических изображений предметов, освещенных ярким светом Солнца, перешли к сценам, источником освещения которых стал свет Луны!

Причиной столь быстрого прогресса явились успехи, достигнутые в разработке передающих и приемных трубок.

Первая из передающих трубок — иконоскоп В. К. Зворыкина — обеспечивала возможность передачи только ярко освещенных сцен, но с разработкой ортикона, когда впервые был осуществлен принцип сканирования пучком медленных электронов и чувствительность трубки возросла в 10 раз, а затем и суперортикона, чувствительность которого превзошла самые смелые ожидания, был достигнут определенный успех в решении задач наблюдения с помощью телевидения при ЕНО около 0,1 лк. При этом спектральная чувствительность передающих трубок оказалась близкой кривой видности глаза человека.

Чувствительным элементом в суперортиконе был полупрозрачный фотокатод, как и фотокатод в ЭОП нулевого поколения. Поэтому, так же как и в ночном видении, конструкторы низкоуровневых телевизионных систем пошли по пути использования УЯИ I поколения, что и было реализовано в конкретной конструкции телевизионной передающей трубки. В этом приборе изображение, спроецированное на входной фотокатод первой камеры, вызывает эмиссию фотоэлектронов, падающих на люминесцентный экран второй камеры, где создается изображение, переносимое на мишень. Далее происходит обычный процесс с образованием на сигнальной пластине суперортикона напряжения, подаваемого на вход усилителя для дальнейшей обработки.

Описанные выше низкоуровневые телевизионные передающие трубки используют внешний фотоэффект, квантовая эффективность которого не превышает 10%. В разработанной в 50-е годы трубке — видиконе — было использовано явление фотопроводимости с эффективностью около 100%.

В видиконе пучок медленных электронов, осуществляющий сканирование фотопроводящей мишени однородным магнитным полем, генерирует положительные заряды, образующие сигнал, который снимается с мишени и направляется в тракт ТВ-передатчика. В случае использования

кремниевой мишени, которая способна принимать как поток фотонов, так и поток электронов, видикон представляет собой весьма чувствительную камеру. В случае дополнения видикона каскадами усиления яркости, вследствие чего бомбардировка мишени осуществляется электронами, чувствительность трубки обеспечивает передачу изображения при ЕНО, создаваемой в ночное время светом звезд.

Кремниевая (силиконовая) мишень состоит из нескольких миллионов фотодиодов, образованных регулярными островками *p*-типа на силиконовой подложке *n*-типа толщиной 10—20 мкм. Фотоны, поглощаемые мишенью, образуют пары электрон — дырка, в которых малочисленные дырки попадают в зону пространственного заряда диодов *p*-типа, при этом разряжая их. Сканирующий электронный пучок, формируемый пушкой видикона, вновь заряжает диоды и, проходя через них, создает распределение токов, отвечающее видеосигналу.

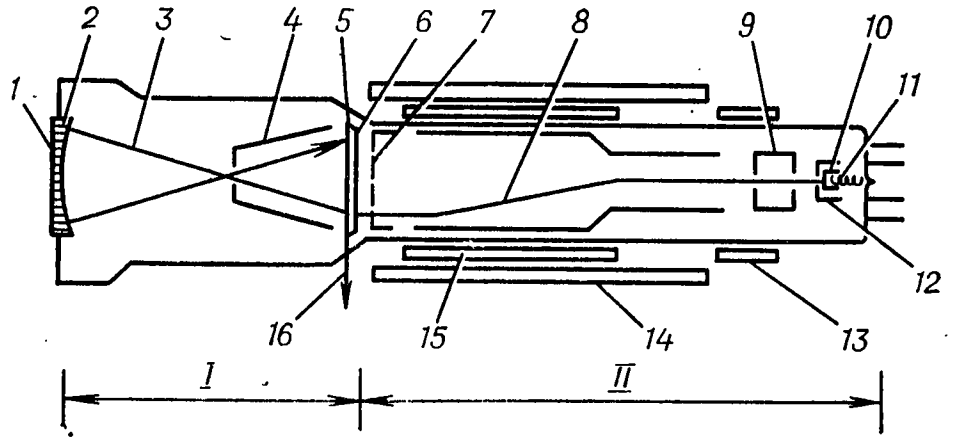


Рис. 22. Ноктикон:

1 — волоконно-оптическая плата; *2* — фотокатод S20; *3* — фотоэлектроны; *4* — анод; *5* — сигнальный электрод; *6* — мишень; *7* — сетка; *8* — электронный луч; *9* — ускоряющий электрод; *10* — катод; *11* — накал; *12* — сетка; *13* — корректирующая катушка; *14* — фокусирующая катушка; *15* — отклоняющая катушка; *16* — выходной сигнал; I — секция преобразования; II — секция сканирования

Ноктикон (рис. 22), так же как и кремниевый видикон, имеет фотокатод и фокусирующие электроды, а также силиконовую мишень, в результате чего каждый электрон создает в среднем на мишени почти в 1000 раз больше пар электрон — дырка, чем было фотонов.

Таким образом, при квантовой эффективности фотокатода 10% получается стократное увеличение чувствитель-

ности, что даёт возможность наблюдения в облачную безлунную ночь при ЕНО меньше 10^{-3} лк. При этом темновой ток и спектральная характеристика примерно те же, что и у кремниевого видикона. В военной технике НУТВ-камеры такого типа применяются для разведки целей и их сопровождения при низких уровнях ЕНО.

Естественным продолжением такой технологии было сочетание однокаскадного (двухкамерного) УЯИ с трубкой ноктикон, в результате чего был создан оптико-электронный прибор — суперноктикон, отличающийся исключительно высокой детектирующей способностью, обеспечивающей регистрацию весьма слабых потоков фотонов. Чувствительность такой трубки почти на два порядка выше НУТВ-камер, описанных выше.

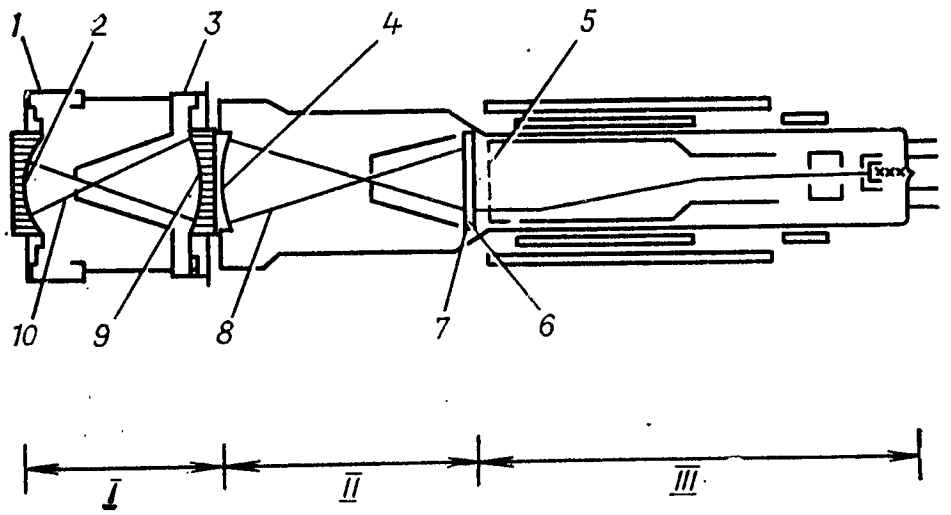


Рис. 23. Суперноктикон:
1 — катодный контакт; *2* — фотокатод; *3* — анод; *4* — фотокатод; *5* — мишень; *6* — сигнальный электрод; *7* — выходной сигнал; *8*, *10* — фотоэлектроны; *9* — фосфорный экран; I — секция усиления изображения; II — секция преобразования; III — секция сканирования

Устройство суперноктикона приведено на рис. 23. Спектральная чувствительность входного фотокатода сдвинута в ближнюю ИК-область до 0,9 мкм. Фотокатод трубки имеет входной зрачок от 25 до 40 мм. Разработаны также модели, снабженные электронными устройствами для резкого изменения угла наклона траектории луча, а также скоростным затвором и усилителем яркости на МКП.

При освещенности на фотокатоде ниже 10^{-3} лк трубки обнаруживают заметно меньшую чувствительность к воздействию магнитных полей, поэтому их применяют в наи-

более сложных системах ночного видения в танках, противотанковой артиллерии и на кораблях.

Новым направлением в развитии низкоуровневых телевизионных трубок явилось использование твердотельных элементов. В общем понятии твердотельный элемент служит инструментом извлечения видеосигналов из оптической информации независимо от того, где получено изображение — непосредственно на мишени видикона или на трубке УЯИ.

Как правило, твердотельные элементы с высокой разрешающей способностью являются приборами с зарядовой связью (ПЗС). ПЗС состоит из множества фоточувствительных микроскопических элементов МОП-структуры (металл — оксид — полупроводник), каждый из которых связан с отдельным МОП-конденсатором для хранения снимаемого с них заряда, образуемого падением фотонов, вызывающих образование пары электрон — дырка.

Емкость каждого конденсатора МОП-структуры для хранения заряда определяется напряжением, приложенным к нему от соответствующего контура через управляющие электроды. Если заряды подлежат хранению в потенциальных ямах каждого конденсатора, то, варьируя профиль глубины соседней потенциальной ямы определенным образом в соответствии с тщательно подобранной последовательностью, заряды можно перемещать из одной ямы в другую. Напряжения на электродах являются синхронизирующими импульсами. Они вызывают движение пакетов зарядов последовательно вдоль ряда потенциальных ям. Когда заряд достигнет конца ряда ям, он преобразуется в напряжение, пропорциональное освещенности, создаваемой на каждом соответствующем ему фотоэлементе, и используется для образования видеосигнала. Наборы фотоэлементов выполняются в виде линейки или двумерной матрицы.

Приборы с зарядовой связью для НУТВ-систем производит фирма «Томсон» в виде линейки из 1728 фотодиодов, обозначаемой как TH7801A, и в виде матрицы фотоэлементов МОП-структуры 576×384-TH7861.

Спектральная граница чувствительности фотоэлементов МОП-структуры достигает 1,1 мкм, т. е. она значительно дальше, чем у фотокатодов УЯИ III поколения. Однако чувствительность видеосистем на приборах МОП-структуры, обеспечивающая возможность передачи изображения при ЕНО 0,5 лк, что составляет около 1/10 чувствительности SIT-видиконов, явно недостаточна для их

применения в технике ночного видения, поэтому дальнейшие перспективы развития состояли в применении на входе приборов с МОП-структурой УЯИ, что и было осуществлено фирмой «Томсон».

В 1982 г. фирма «Томсон» приступила к производству УЯИ с использованием ПЗС. В них применялись матрицы из 576×384 фотоэлементов МОП-структуры с зарядовой связью с экраном из оптического волокна, связанным с УЯИ II поколения, в результате чего был создан прибор НУТВ, обеспечивающий передачу изображения при ЕНО 10^{-4} лк, т. е. в безлунную ночь. Прибор получил индекс TH9761-C-04 как композиция МОП-структуры TH7861 и УЯИ II поколения TH9304. Динамический диапазон прибора по уровню освещенности составляет 10^5 раз! Разрешающая способность видеосистемы с твердотельными приборами и усилителем порядка 8 пар лин/мм. Это составляет около половины разрешающей способности видикона SIT и считается достаточным для наблюдения.

НУТВ-камеры с применением твердотельных приборов являются весьма перспективными для применения в технике ночного видения. Оснащенные усилителями II поколения и встроенными источниками питания, приборы компактны, легки и могут сравнительно просто трансформироваться в ручную камеру с батарейным питанием. Другими их преимуществами являются высокая конструктивная прочность и повышенная стойкость в условиях воздействия электромагнитного импульса при ядерном взрыве (ЯВ). Применение в них УЯИ III поколения позволит повысить чувствительность, которая обеспечит работоспособность при ЕНО 10^{-5} лк при использовании стандартной оптики кинокамер. Применение твердотельных приборов в этих камерах гарантирует отсутствие искажений.

Дальнейшее улучшение разрешающей способности этих приборов возможно за счет уменьшения межканальных промежутков МКП, улучшения сопряжения волоконно-оптических элементов и уменьшения размеров фоточувствительных элементов с зарядовой связью.

Одним из перспективных направлений дальнейшего совершенствования приборов такого типа является разработка элементов с зарядовой связью, освещаемых с тыльной стороны, которые явятся по-настоящему низкоуровневыми твердотельными преобразователями изображения. В них заряды в потенциальных ямах создаются непосредственно бомбардировкой тыльной стороны элемента от сфокусированного вблизи фотокатода, что достигается

уменьшением толщины подложки до нескольких ангстрем и точным размещением фотокатода на расстоянии нескольких десятых миллиметра (с осуществлением ускорения электронов на этом расстоянии).

Некоторые специалисты рассматривают низкоуровневые телевизионные системы не как реальные приборы военного применения, а отводят им место в обеспечении охраны объектов в ночное время, когда ТВ-датчики, установленные на углах зданий и соединенные с центральной системой наблюдения, повышают эффективность охраны и тем самым безопасность охраняемого объекта.

Что же касается применения НУТВ в БТТ, то здесь повышение эффективности разведки может быть достигнуто за счет высвечивания на ТВ-дисплее данных о дальности до цели.

Сравнительная техническая простота НУТВ, обеспечивающая возможность разнесения приемного дисплея и передающей камеры в сочетании с сейсмическими датчиками, создает некоторую комфортность и меньшую утомляемость дежурного оператора, от которого не требуется непрерывное наблюдение в окуляр; он должен лишь изредка посматривать на экраны.

В настоящее время телевизионные трубки с УЯИ занимают прочное место в системе вооружения многих армий в составе НУТВ-камер, устанавливаемых на объектах БТТ, кораблях и воздушных средствах, в интегрированных системах разведки и сопровождения целей.

3. ПРИБОРЫ НОЧНОГО ВИДЕНИЯ

3.1. История создания

Резкое ограничение видимости невооруженным глазом в сумерки и ночью вызвано несоответствием спектральной чувствительности глаза волновому диапазону освещенности, создаваемой излучением небесного свода и звезд.

Зрительные функции глаза ограничиваются в условиях слепящих засветок, так как аппарат адаптации не обладает способностью реагировать с весьма высокой скоростью.

Создание оптических приборов сообщило глазу удивительные свойства. Одним из них является полная скрытность наблюдения, так как оптический контакт глаза с наблюдаемым предметом не оказывает физического воздействия на рассматриваемый объект, какой бы чувствительностью он ни обладал. Оптические приборы — зрительные трубы, оптический прицел, перископ, — стереоскопические приборы — бинокль, стереотруба, обладающие пластичностью, — обеспечивают помимо скрытности наблюдения еще и высокое угловое разрешение, позволяющее вести наблюдение малоразмерных предметов на дальностях, значительно превышающих дальность наблюдения невооруженным глазом, а также точную наводку оружия для попадания боеприпаса в цель и корректировку результатов стрельбы.

Состоящие на вооружении всех без исключения родов войск оптические приборы обеспечивают выполнение боевой задачи в дневных условиях, а ночью — только при условии освещенности, обеспечивающей глазу возможность видения, которая создается применением различного рода осветительных средств: осветительных авиабомб САБ и ФОТАБ, осветительных снарядов и мин, осветительных и сигнальных патронов с парашютирующими звездками. Однако применение этих средств не обеспечивает скрытности

боевых операций ни одной из воюющих сторон и тем самым лишает их военного преимущества ночью. Другое дело, когда одна сторона располагает способом скрытного проведения боевых операций, а другая — нет. Тогда все преимущества на первой стороне. Так и произошло в годы второй мировой войны на острове Окинава, где американские войска впервые применили ночные прицелы «Снайперскоп», обеспечившие скрытность и внезапность проведения операций против японских войск, не располагавших такими средствами, что и привело к быстрой сдаче острова.

В послевоенные годы развитие приборов ночного видения определялось созданием и совершенствованием элементов ПНВ — чувствительными трубками и материалами фотокатода и экрана, оптическими элементами и их материалами, преобразователями напряжения для питания трубок, источниками питания. В результате работ, проводившихся в течение почти 40 лет и проводимых и поныне, были достигнуты значительные успехи в совершенствовании активных ПНВ в части создания более мощных источников света со спектральной характеристикой излучения, отвечающей спектральной чувствительности однокамерных ЭОП с кислородно-серебряно-цезиевым фотокатодом; энергоемких источников тока для ИК-прожекторов; более совершенных элементов блоков питания — высоковольтных выпрямителей и конденсаторов. Были созданы новые активные прицелы и приборы наблюдения с характеристиками, значительно превосходящими характеристики активных приборов военного времени. Широкое распространение получили активные прицелы типа «Суперснайперскоп», разработанные в США и приобретенные рядом стран, прицелы, разработанные в ФРГ и других передовых капиталистических странах. Особенное внимание было обращено на оснащение ИК-приборами средств БТТ, что позволило в сравнительно короткие сроки создать активные прицелы и командирские наблюдательные приборы для танков, водительские приборы. Значительное распространение получили и наблюдательные приборы для СВ и ВМС.

С дальнейшим развитием электровакуумной технологии были разработаны совершенно новые, пассивные приборы на основе многокамерных и многомодульных ЭОП, открывших целую эпоху в создании скрытных средств ночного наблюдения и прицеливания, а затем уже и более совершенные пассивные ПНВ с усилителями на микрока-

нальных пластинах, совершившие переворот в технике ночного видения. В 80-х годах появились еще более совершенные пассивные ПНВ с чувствительными элементами трубок, соответствующими спектральным характеристикам естественного освещения ночью, поэтому не случайно специалист по приборам ночного видения Джордж Томсон озаглавил одну из своих статей так: «Превращение ночи в день: приборы усиления света на поле боя» *.

Решение этой задачи потребовало много времени, и в настоящее время можно уверенно сказать, что для тактических боевых действий эта задача решена. На вооружении ряда стран состоят как активные, так и пассивные приборы ночного видения всех поколений, что объясняется экономическими соображениями, так как производство и обслуживание ПНВ обходятся дорого, о чем постоянно напоминают авторы статей по технике и тактике применения приборов ночного видения.

3.2. Активные приборы ночного видения (ПНВ нулевого поколения)

Такое наименование активные ПНВ получили сравнительно недавно, когда уже были созданы три поколения пассивных ПНВ с усилителями яркости изображения I, II и III поколений. В прошлом ПНВ I поколения именовались активными приборами, II поколения — пассивными, а III поколения — тепловизионными.

Все ПНВ, как активные, так и пассивные, используют первое окно прозрачности в атмосфере, занимающее спектральную полосу от 0,7 до 0,96 мкм, хотя кислородно-серебряно-цезиевый фотокатод однокамерных ЭОП этих приборов имеет достаточно высокую чувствительность и в видимой части спектра, что является причиной чрезвычайной чувствительности активных приборов к встречным засветкам выстрелов, фарам машин и осветительным средствам (характерно для ночных боевых действий).

Активные ПНВ явились первым шагом на пути превращения ночи в день и, несмотря на ряд присущих им недостатков, выполнили свою задачу, заложили основы тактики применения ПНВ, заняв прочное место в системе вооружения практически всех стран мира.

Активные ПНВ предназначаются для наблюдения поля боя, распознавания целей и ведения прицельного огня

---

* Military Technology. 1986. V. 10. No 7. P. 98.

по ним из стрелкового оружия и средств ближнего боя, артиллерии и танков, а также для ночного вождения транспортных и боевых машин, производства инженерных работ и других видов деятельности, требующей скрытности в ночное время.

Практически эти задачи решаются по довольно простой схеме: облучение местности и расположенных на ней объектов ИК-лучами прожектора, наблюдение их в ПНВ — прибор наблюдения или прицел, водительский прибор или монокуляр ближнего действия. Естественно, любой ПНВ без прожектора является прибором для разведки не только ИК-прожекторов противника и стрельбы по ним, но и далеких огней и замаскированных источников света, так как чувствительность ЭОП достаточно высока.

Так как ИК-прожектор имеет ИК-фильтр, задерживающий видимые лучи, излучаемые лампой накаливания, и пропускающий только невидимые невооруженному глазу ИК-лучи с длиной волны 0,7—1,2 мкм, его действие является скрытным для противника, не имеющего аналогичные приборы. Практически приборы ночного видения используют довольно узкий участок ИК-излучения по сравнению с тем, который испускает прожектор, так как фотокатод ЭОП имеет максимум чувствительности около 0,8 мкм.

Дальность действия активного ПНВ определяется характеристиками ИК-прожектора как средства подсветки и характеристиками электронно-оптического прибора наблюдения. Помимо характеристик ЭОП большую роль играет относительное отверстие и фокусное расстояние объектива, а также коэффициент пропускания ИК- лучей объективом. Так, относительное отверстие, представляющее отношение фокусного расстояния объектива к его диаметру, определяет освещенность на фотокатоде ЭОП, а фокусное расстояние — масштаб изображения цели на фотокатоде. Поскольку эти характеристики взаимосвязаны, то обычно выбирают промежуточный вариант, отвечающий назначению прибора: ночные прицелы и наблюдательные приборы, где масштаб изображения играет главную роль в процессе обнаружения и опознавания цели, оснащаются объективами с относительным отверстием 1 : 1,5 — 1 : 1,7, т. е. довольно высоким по сравнению с бытовыми оптическими приборами. При этом ПНВ должны удовлетворять требованиям удобства пользования ими и их размещения на оружии, а для этого требуются минимальные габаритные размеры и масса. Что же касается характеристик ИК-

прожектора подсветки целей, то их выбор представляет значительные трудности для приборов, предназначенных в качестве прицелов к стрелковому оружию и противотанковым гранатометам, переносимых стрелком, так как их дальность действия определяется такими характеристиками, как сила света прожектора и угол расходимости прожекторного луча. Сила света ИК-прожектора, в свою очередь, зависит от мощности источника света и диаметра зеркального отражателя, причем последний определяет также и угол расходимости луча. Если учесть еще необходимость оснащения ПНВ источниками тока для питания лампы и блока питания ЭОП, емкость которых должна обеспечивать хотя бы 3-часовую непрерывную работу активного ПНВ, то задача создания мобильных ПНВ, приемлемых для ведения разведки целей и стрельбы по ним, является достаточно сложной. Она была решена за счет неполного удовлетворения огневых возможностей оружия, на котором устанавливался прицел. По определению западных специалистов, активные ПНВ обеспечивают ведение ночных боевых действий по формуле «Боевая дальность ночью равна половине боевой дальности днем».

Особенностью активных ПНВ является еще и то, что угол их поля зрения можно полностью использовать только при наблюдении в пассивном режиме, т. е. без включения ИК-прожектора. Это объясняется тем, что луч ИК-прожектора для достижения максимальной дальности действия должен иметь минимальный угол расходимости лу-

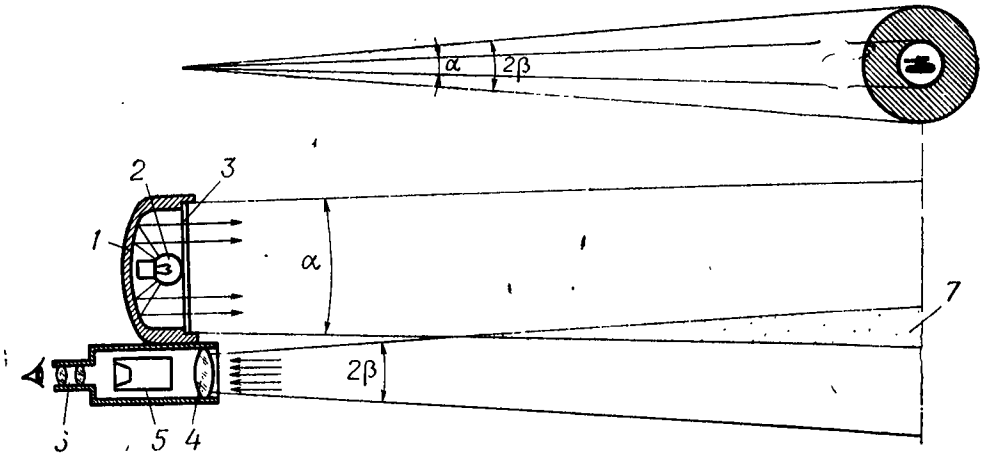


Рис. 24. Принцип действия активного ПНВ и относительное расположение пятна с углом α ИК-прожектора в поле зрения 2 β прибора ночного видения:

1 — сферический отражатель; *2* — лампа накаливания; *3* — ИК-фильтр; *4* — объектив; *5* — ЭОП; *6* — окуляр; *7* — зона образования помехи за счет рассеяния ИК-излучения в замутиенной атмосфере

ча. Это обстоятельство с учетом диаграммы направленности, когда максимальная освещенность создается в центре прожекторного луча и падает по мере смещения от центра к краям, существенно влияет на ведение поиска целей, их обнаружение и опознавание, тем более что прицельная марка находится в центре поля зрения.

На рис. 24 показаны схема устройства ПНВ и принцип его действия в активном режиме, когда активное поле зрения составляет около 1/3 номинального. Конечно, наблюдательные приборы и прицелы, устанавливаемые на подвижных средствах вооружения, не были поставлены в столь узкие рамки, так как имели практически неограниченный ресурс по мощности. В результате ПНВ, установленные на танках, имели ИК-прожекторы мощностью около 1 кВт. Активные ИК-приборы для вождения машин также не испытывали ограничений по мощности, хотя дальность наблюдения в них зависит не столько от мощности источника света, сколько от необходимости создания ИК-прожектора с очень широкой диаграммой направленности, обеспечивающей большое поле обзора, что, в свою очередь, создает трудности технического порядка.

Приведенные в табл. 3.1 характеристики активных ПНВ по полю зрения не учитывают угол раствора луча ИК-прожекторов и поэтому не могут служить основой при составлении тактических схем этих приборов, поскольку реальный угол обзора значительно меньше.

ИК-фильтр прожектора, отсекающий видимый свет, изготавливается из стекла, окрашенного окислами различных металлов или покрытого специальной термоустойчивой пленкой с высоким коэффициентом пропускания в разрешенной области 0,7—0,9 мкм, чтобы свечение ИК-прожектора нельзя было обнаружить при наблюдении в обычные оптические приборы.

Габаритные размеры и мощность ИК-прожекторов определяются их назначением. Прожекторы к стрелковому оружию имеют диаметр около 180 мм и осевую силу света $3 \cdot 10^4$ кд. ИК-прожекторы для ПНВ к тяжелому оружию при диаметре около 230 мм излучают световой поток силой до $1{,}2 \cdot 10^5$ кд. Прожекторы танковых прицелов и командирских наблюдательных приборов при мощности около 1 кВт и отражателе диаметром 300 мм имеют силу света более 10^6 кд. ИК-прожекторы, применяемые в артиллерии, при осевой силе света $2{,}5 \cdot 10^6$ кд имеют диаметр около 450 мм. В прожекторах на танках в качестве источников света используются в настоящее время ксеноновые лампы

сверхвысокого давления, спектральная характеристика которых содержит ИК-излучение с длиной волны, отвечающей спектральным характеристикам не только ЭОП активных приборов, но и ПНВ с усилителями яркости I, II и III поколений, поэтому эти приборы могут с успехом использовать активную подсветку для наблюдения на больших дальностях.

Как уже отмечалось, активные ПНВ обладают недостатком, существенно ограничивающим их применение,— отсутствием скрытности действия, но есть условия, в которых они успешно используются и в настоящее время: при ведении боевых действий под землей, в бункерах, помещениях, где пассивные приборы могут оказаться неприменимыми вследствие почти полного отсутствия освещенности. Что же касается их чувствительности к засветкам, то этот недостаток присущ вообще всем ПНВ, поэтому они имеют насадки с фильтром для работы в условиях высокой освещенности и днем.

Активные ПНВ в зависимости от характеристик ИК-прожекторов и приборов наблюдения, а также погодных условий (наблюдение в дождь, туман, снегопад невозможно) обеспечивают разведку целей и ведение по ним огня на дальности до 1000 м. При этом весьма важным обстоятельством является база, т. е. расстояние между ПНВ и приданным ему ИК-прожектором, так как при размещении ИК-прожектора непосредственно на корпусе прибора, т. е. с малой базой, наблюдательный прибор как бы «смотрит» сквозь луч прожектора. Если атмосфера содержит взвешенные частицы пыли, дыма или влаги, линейные размеры которых превышают рабочую длину волны фотокатода ЭОП, то ИК-излучение прожектора, отражаясь от частиц, создает фон, яркость которого значительно превосходит яркость объекта наблюдения. В результате такой «обратной» засветки дальность наблюдения в активные ПНВ сокращается (рис. 24).

Одним из способов повышения дальности действия активных ПНВ является боковая подсветка, когда один из приборов освещает местность или цель своим прожектором, а остальные ведут наблюдение в пассивном режиме, т. е. не включая свои прожекторы (в более благоприятных условиях видимости). Таким же образом может осуществляться целеуказание всем ПНВ, в том числе и пассивным. Вместе с тем, учитывая возможность открытия противником огня по работающему ИК-прожектору, необходимо держать готовыми к включению ИК-прожекторы на

поиск целей (по мнению зарубежных авторов, время готовности не должно превышать 10 с).

Оснащение западногерманской БТТ активными приборами было завершено еще в конце 50-х годов, когда на танках «Леопард 1», М58, пушечном истребителе танков, БМП «Мардер» и разведывательной машине «Лукс» были установлены ИК-прицелы с однокамерным ЭОП и ИК-прожекторами белого света. В истребителях танков и БМП, несмотря на установку пассивных ПНВ, предполагалось оставить активные приборы, так как они обладают большей устойчивостью к засветкам, чем пассивные. Даже после оснащения западногерманской БТТ водительскими приборами пассивного типа ВМ8005 на машины были установлены ИК-фары с дальностью действия 25 м, излучение которых нельзя обнаружить в ИК-прибор на больших расстояниях.

В современных западногерманских танках «Леопард 1» и «Леопард 2» установлены ИК-прожекторы, которые могут работать и в белом свете для ослепления противника. Источником света служит та же ксеноновая лампа мощностью 950 Вт и осевой силой света $3 \cdot 10^7$ кд.

Таким образом, в ряде армий зарубежных стран активные ПНВ сохраняют свое место в системе вооружения, хотя, по признанию специалистов, считаются устаревшими. Существуют сведения о возможной передаче вооружения с активными ПНВ в распоряжение территориальных войск. В войсках бундесвера решение о применении активных ПНВ в боевых действиях может принимать командир батальона.

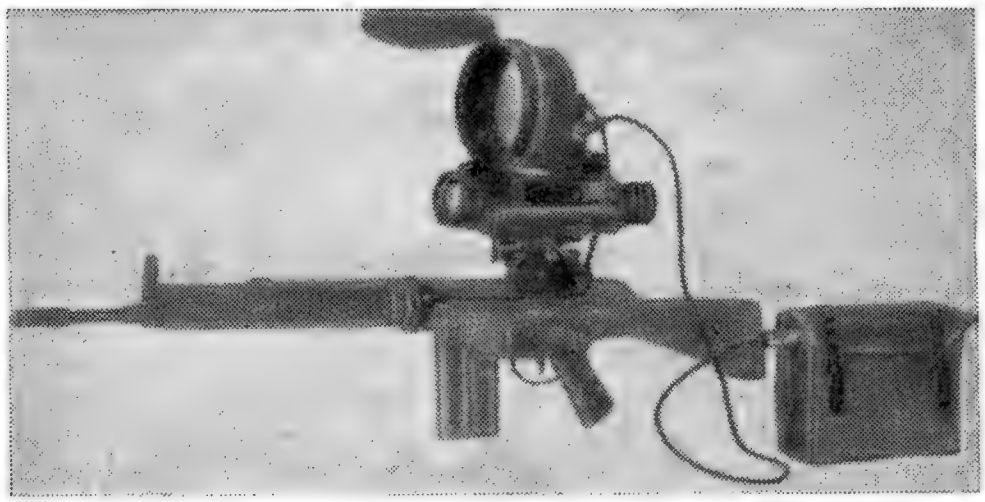


Рис. 25. Активный прицел B8V с ИК-прожектором и блоком питания

Рис. 26. Танк М48А3 с активным прицелом и ИК-прожектором

На рис. 25 и 26 показаны активный прицел к винтовке и танк с ИК-прожектором, установленным на маске орудия.

Тактико-технические характеристики активных ПНВ нулевого поколения (с ИК-прожекторами) приведены в табл. 3.1.

3.3. Пассивные приборы ночного видения (ПНВ I, II и III поколений)

3.3.1. Пассивные приборы I поколения

В настоящее время пассивные ПНВ заняли главенствующее положение в системах вооружения многих стран мира и являются надежной основой эффективного проведения боевых операций в ночных условиях, обеспечивая возможность скрытного наблюдения и разведки целей и ведения прицельного огня из всех огневых средств сухопутных войск и боевых вертолетов.

Появление пассивных ПНВ внесло существенные изменения в тактику ночных боевых действий, приблизив их по эффективности к дневным.

Будучи скрытными в действии, не излучая и не изменяя пассивный характер наблюдения, новые ПНВ расширили границы зрения человека.

Таблица 3.1

Тактико-технические характеристики активных ПНВ нулевого поколения (с ИК-прожекторами)

Наименование (шифр) прибора	Увеличение, крат	Поле зрения, град	Характеристика ИК-прожектора			Тип ЭОП	Дальность, м			Габаритные размеры, мм			Масса, кг	Применение
			диаметр, мм	мощность, Вт	сила света, кд		обнаружения	опознавания	идентификации	длина	ширина	высота		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ФРГ														
Ночной прицел B8V	4	7	130	35	—	—	300	—	—	320	175	255	2,6 (без питания)	Автомат G3 (4 прицела на взвод)
Ночной прицел B171-II	5,4	9,5	—	—	—	—	1500	—	—	288	181	550	19,5	Танки «Леопард 1» и «Леопард 2»
Прицел день/ночь TNZFK8/6PERO Z16	6	8	—	—	—	—	1200	—	—	—	—	—	—	Пушечный истребитель танков
Ночной водительский прибор-бинокуляр	1	55×40	—	—	—	—	80	—	—	150	154	316	7,6	Танки Л-1 и Л-1А4
Франция														
Ночной прицел OB-11A	5	7	—	—	—	—	800—1000	—	—	—	—	—	7,6	Танк AMX-30

Продолжение табл. 3.1

Наименование (шифр) прибора	Увеличение, крат	Поле зрения, град	Характеристика ИК-прожектора			Тип ЭОП	Дальность, м			Габаритные размеры, мм			Масса, кг	Применение
			диаметр, мм	мощность, Вт	сила света, кд		обнаружения	опознавания	идентификации	длина	ширина	высота		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ночной прицел Мк49-56	2,4	12	—	—	—	—	200—250	—	—	290	55	—	2 (без питания)	Стрелковое оружие
Ночной бинокулярный перископ	4	9	—	—	—	6914	400	—	—	355	500	620	8	Танк АМХ-30
США														
Ночной активно-пассивный перископ М51	8	5,5	—	—	—	—	1500** 1000*	—	—	578	406	358	15,1	Танк М60А2
Ночной комбинированный прицел	8	8	—	—	—	—	600	—	—	—	—	—	—	Танки М60А1, М60А3, М60А4
Ночной наблюдательный прибор и обнаружитель ИК-прожекторов «Метаскоп 9902Е»	1,1	30	—	600	—	6929	300* 1000**	—	—	152	114	114	1,2	В танках и артиллерийских прицелах при подсветке цели ИК-прожектором

Окончание табл. 3.1

Наименование (шифр) прибора	Увеличение, крат	Поле зрения, град	Характеристика ИК-прожектора			Тип ЭОП	Дальность, м			Габаритные размеры, мм			Масса, кг	Применение
			диаметр, мм	мощность, Вт	сила света, кд		обнаружения	опознавания	идентификации	длина	ширина	высота		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Великобритания														
Ночной командирский прицел	2,8	13	—	—	—	OV6090	1000	—	—	430	330	260	19,5	Танк «Чифтен»
Ночной прицел А-1200-А фирмы «Мель»	—	—	180	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Пулемет танка «Центурион»
Нидерланды														
Ночные очки PG1M с лазерной подсветкой	1	47	—	—	—	—	150	—	—	—	—	—	0,9	Боевые машины и вертолеты

Примечание. В графе 8 одной звездочкой отмечена пехота, двумя — танки.

Исключение из схемы ПНВ ИК-прожектора помимо скрытности действия повлекло за собой следующие изменения в составе аппаратуры приборов и их эксплуатационных характеристиках:

уменьшение габаритных размеров и массы аппаратуры и улучшение ее мобильности;

резкое увеличение реального угла поля зрения прибора до номинальной величины, определяемой оптической схемой;

резкое повышение ресурса работы переносных ПНВ до замены источника питания с одновременным обеспечением надежной работы в широком интервале температур;

повышение надежности всей аппаратуры и приборов в целом.

Являясь логическим и технологическим развитием однокамерного электронно-оптического преобразователя, новый покаскадный способ повышения усиления привел к созданию многокамерного, позднее многомодульного ЭОП, открыв тем самым принципиально новый принцип видения, а с ним и пассивные приборы ночного видения, работающие при естественной ночной освещенности без подсветки.

Схема построения пассивного ПНВ с каскадным (многокамерным) ЭОП практически (по схеме оптики) не отличается от схемы активного ПНВ с ЭОП, где однокамерный ЭОП оборачивает изображение, как и линзовая оборачивающая система. Аналогичная оптическая система прибора будет и в случае применения трехкамерного ЭОП, поскольку изображение в нем будет оборачиваться триж-

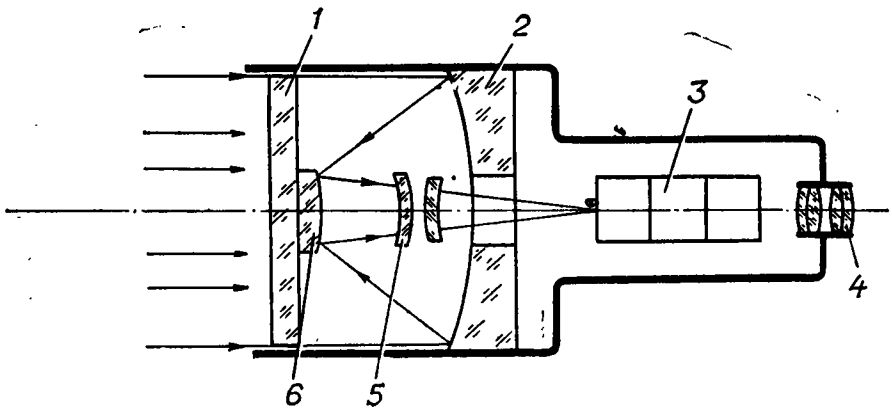


Рис. 27. Пассивный ПНВ I поколения с трехкамерным ЭОП и зеркально-линзовым (катадиоптрическим) объективом:

1 — входное окно; *2* — главное зеркало; *3* — трехкамерный ЭОП I поколения; *4* — окуляр; *5* — линзовый компонент; *6* — зеркальный компонент

ды. Исключение представляет двухкамерный ЭОП, также используемый в пассивных ПНВ, когда вместо лупы в окуляре применен микроскоп.

Таким образом, пассивный ПНВ, так же как и электронно-оптический прибор активного ПНВ (без ИК-прожектора), состоит из линзового или зеркально-линзового (катадиоптрического) объектива, в фокальной плоскости которого (рис. 27) помещается первый фотокатод многокамерного (двух- или трехкамерного) ЭОП. К металлизированному экрану первой камеры подводится высокое напряжение, в результате чего осуществляется процесс усиления, подробно описанный в разд. 2.

Вследствие применения многокаскадной трубки осевая длина пассивного ПНВ заметно превосходит длину активного прибора. Так, длина пассивного ПНВ с двухкамерным ЭОП для стрелкового оружия составляет 360 мм при массе 2,2 кг (мини-прицел RS4MC, Нидерланды), а активный прицел (B8V, ФРГ) имеет длину 320 мм и массу 2,6 кг, но без источника питания, масса которого при 3-часовом режиме работы составляет для случая использования КН аккумулятора не менее 5 кг. Использование зеркально-линзового объектива позволяет сократить осевую длину пассивного ПНВ, как, например, в прицеле «Орион 80» ФРГ (рис. 28), масса которого всего 1,8 кг.

Честь создания зеркально-линзового объектива принадлежит великому русскому ученому М. В. Ломоносову, положившему в основу объектива принцип: «Большие зеркала, малые линзы».

Рис. 28. Пассивный ночной прицел «Орион 80» с трехкамерным ЭОП I поколения

Элементом новизны в пассивном ПНВ I поколения является и высоковольтный преобразователь постоянного тока низкого напряжения в высокое, подводимое к экранам камер и составляющее обычно 15 кВ на камеру. Такое напряжение потребовало создания миниатюрных схем высоковольтных преобразователей и делителей напряжения к ним, рассчитанных на 15, 30 и 45 кВ в широком интервале температур:

от минус 54 до +52° С в США;

от минус 45 до +45° С в ФРГ;

от минус 40 до +45° С (в танках от минус 40 до +70°) в Великобритании;

от минус 40 до +55° С во Франции;

от минус 40 до +50° С в Италии.

Так как эти требования относятся ко всей аппаратуре ПНВ в целом, то они, очевидно, обязательны и для источников тока, применяемых для питания ПНВ, кроме тех, которые размещаются на различного рода транспортных носителях и питаются от бортовой сети. Однако известно, что все химические источники тока практически неработоспособны при температуре минус 40° С, не говоря уже о температуре минус 54°, предусмотренной для вооружения США. В зарубежной литературе нет каких-либо сведений по этому вопросу. Возможно, что миниатюрные источники для пассивных ПНВ при отрицательных температурах размещаются под одеждой стрелка.

Для защиты от засветок яркими источниками света, опасных для ПНВ I поколения с высокочувствительными многокамерными трубками, разработаны защитные устройства, основанные на автоматическом снижении ускоряющего напряжения на камерах и тем самым резком падении коэффициента усиления, в результате чего засветка не доходит до выходного экрана трубки.

Последним элементом в оптической схеме пассивных ПНВ является окуляр. В военных приборах, таких, как прицелы, применяется обычный многолинзовый окуляр с удалением выходного зрачка, обеспечивающим прицеливание и ведение огня из оружия в противогазе.

В наблюдательных приборах наряду с монокуляром используется как бинокуляр, так и биокуляр. Последний позволяет выбрать положение, удобное наблюдателю. Некоторые приборы изготавливаются в двух вариантах — с биокуляром и бинокуляром и применяются в зависимости от условий наблюдения.

Область применения пассивных ПНВ I поколения рас-

ширялась по мере разработки приборов и их освоения в производстве. Первыми приборами, в которых были использованы новые трубки, стали пассивные наблюдательные приборы, но для установки их на образцы оружия необходимо обеспечить прочность в связи с большими ускорениями, возникающими при стрельбе из оружия и вибрациях при транспортировке. Задача была решена, и на вооружение стали поступать в довольно большом ассортименте прицелы к стрелковому оружию и ручным противотанковым гранатометам, прицелы к безоткатным орудиям, приборы вождения танков, танковые командирские приборы и прицелы, приборы дальнего наблюдения. По мере насыщения пассивными приборами армии ими стала вооружаться и полиция. Так, ночным биноклем PB4DS производства фирмы «Олдельфт» (Нидерланды) помимо войск НАТО были оснащены особые подраздсления полиции.

Пассивные ПНВ I поколения на многокамерных и многомодульных ЭОП выпускаются всеми развитыми в промышленном отношении странами и состоят на вооружении многих стран мира. Несмотря на повышенную чувствительность к ярким источникам света, попадающим в их поле зрения, пассивные ПНВ благодаря таким качествам, как высокая разрешающая способность, высокий коэффициент усиления, занимают прочное место в системах вооружения многих стран и, видимо, будут удерживать его и в будущем.

Многие зарубежные ПНВ для наблюдения и ведения прицельного огня из оружия в дневное время используют специальные крышки с булавочным отверстием, надеваемые на тубус объектива. Такая диафрагма, защищая усилитель от яркого света, обеспечивает хорошую видимость цели и, кроме того, сохраняет точность установки прицела на оружии, которая в случае снятия прицела с оружия и замены его другим прицелом нарушается.

Тактико-технические характеристики пассивных ПНВ I поколения, выпускаемых некоторыми странами, приводятся в табл. 3.2.

ПНВ I поколения используют в основном трубки XX1080, являющиеся, по данным печати, наиболее удачными в ПНВ армий стран НАТО. Они снабжаются специальным устройством, ограничивающим действие световых помех, представляющих опасность для этих высокочувствительных приборов.

Таблица 3.2

Тактико-технические характеристики пассивных ПНВ I поколения

Наименование прибора	Увеличение, крат	Поле зрения, град	Дальность действия, м, при ЕНО, лк		Габаритные размеры, мм			Масса, кг
			10^{-1}	10^{-3}	длина	ширина	высота	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
США								
Прицел AN/PVS-2 к винтовке M16A1	4	10,8	400	300	457	⌀89	—	1,8
Прицел «Стар-Трон» к стрелковому оружию	4,2	10,8	—	—	317	—	—	2
Прицел мод. 230 к стрелковому оружию	3,8	—	—	300	360	⌀89	—	1,9
Прицел мод. 240 к тяжелому оружию	6,2	—	—	—	434	⌀155	—	3,3
Наблюдательный артиллерийский прибор мод. 229	7	9	—	1000	838	⌀260	—	17
ФРГ								
Прицел «Орион 80» к стрелковому оружию	4	8	—	300	290	⌀95	—	1,8
Прицел «Орион 110» к стрелковому оружию	6	6	—	400	320	⌀120	—	2,4
Прицел «Луна-Трон» к гранатомету	5,4	8	700	500	—	—	—	—
Наблюдательный бинокуляр BN21	4,5	11	—	—	340	150	95	2,2
Нидерланды								
Мини-прицел RS4MC к стрелковому оружию	4	10	—	—	360	100	98	2
Ночной бинокль PB4DS	4	10	—	400* 1000**	—	—	—	2,2
Наблюдательный прибор-бинокуляр средней дальности 7×200 AT	4,5	7	—	1000* 3000**	550	⌀252		12,8
Великобритания								
Прицел «Трайлайт» к пулемету и гранатомету	2,5	13	1000**	400**	—	—	—	3

Окончание табл. 3.2

Наименование прибора	Увеличение, крат	Поле зрения, град	Дальность действия, м, при ЕНО, лк		Габаритные размеры, мм			Масса, кг
			10^{-1}	10^{-3}	длина	ширина	высота	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Прицел «Лолайт» к тяжелому оружию	1,4	20	1500**	600**	420	—	—	3,4
Прицел «Хоклайт» к ПТП	3,5	10	2000**	1200**	530**	—	—	7,3
Прицел SS20Мк2 к тяжелому оружию	3,7	10,2	1200**	700**	477	100	185	2,8
Наблюдательный прибор LTVE-172 дальнего действия	4,5	8,4	1800* 3000**		⌀172		—	8,1
Франция								
Прицел ОВ-25 к пехотному оружию НАТО	1	10	—	400	—	—	—	2,7
Италия								
Артиллерийский наблюдательный прибор М176	5,3	10,5	—	1500	—	—	—	2,2
Мини-прицел к стрелковому оружию итальянской армии М166	3	11,7	—	500	410		⌀83	2

Примечание. В графах 4, 5 и 6 одной звездочкой отмечена пехота, двумя — танки.

В отличие от активных ПНВ, где использовались энергоемкие источники тока для питания ламп накаливания ИК-прожекторов, источники тока, применяемые в ПНВ I поколения, — кадмиево-никелевые аккумуляторы (2,5 В), ртутно-цинковые элементы (6,75 В) и литиевые источники тока (3 В) — обеспечивают работу приборов в течение 25—72 ч в интервале температур от минус 40 до +50° С.

На рис. 29—33 показаны наиболее характерные образцы ПНВ I поколения, состоящие на вооружении стран НАТО и выпускаемые промышленными предприятиями

США и стран Западной Европы. На рис. 29 и 30 представлены приборы, использующие двухкамерные трубки, а на рис. 31—33 — приборы на трехкамерных трубках XX1080.

Пассивные приборы все же не являются абсолютно защищенными от разведки со стороны противника. Так, свечение люминесцентного экрана на выходе пассивного ПНВ

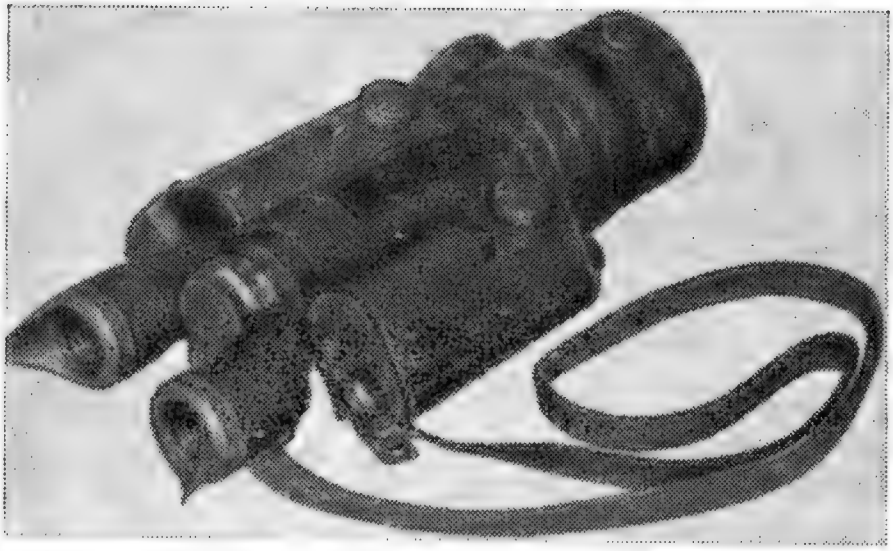


Рис. 29. Пассивный ночной бинокль BN 21 с двухкамерным ЭОП I поколения

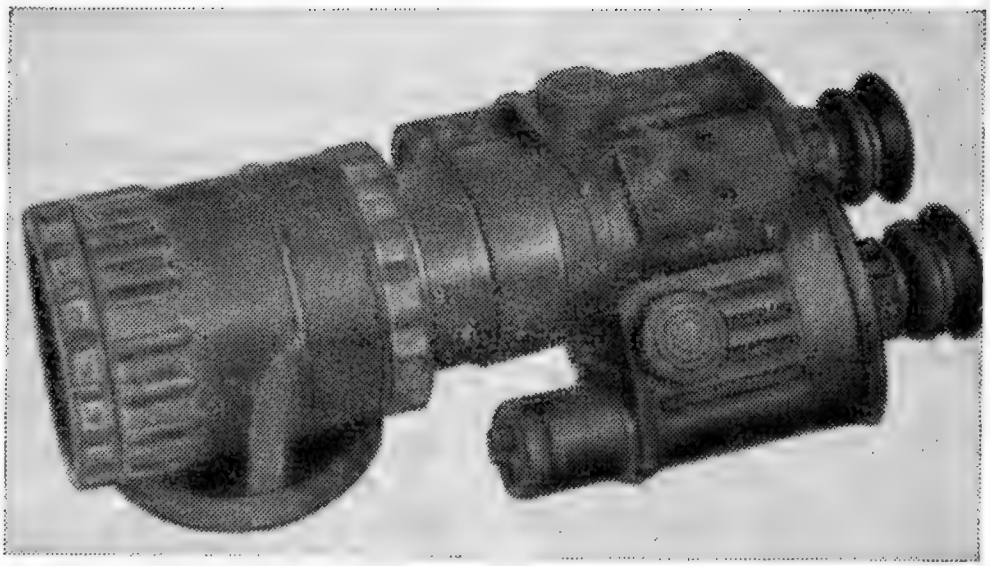


Рис. 30. Пассивный ночной бинокль PB4DS с двухкамерным ЭОП I поколения

Рис. 31. Прибор ночного видения «Стар-Трон» с трехкамерным ЭОП I поколения

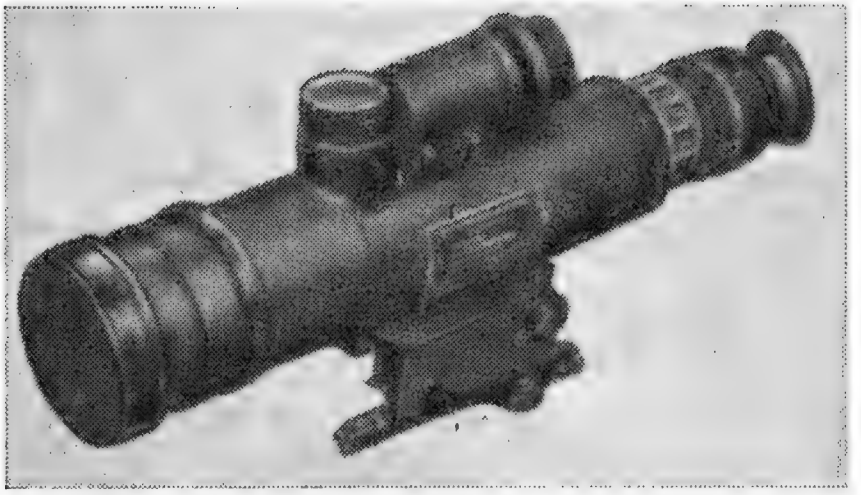


Рис. 32. Прицел «Старлайтскоп» AN/PVS-2 с трехкамерным ЭОП I поколения

в случае неплотного прилегания наглазника прибора к глазу создает на глазной впадине и скуле стрелка некоторую освещенность, которая может быть замечена стрелком противника, вооруженным аналогичным прибором, поэтому стрелок должен прижимать наглазник к глазной впадине и не отклоняться при поиске цели от наглазника.

Рис. 33. Прицел «Стар-Трон» Мк303А с трехкамерным ЭОП I поколения

Заслуживает внимания и другой демаскирующий фактор. Дело в том, что блок питания ЭОП, использующий принцип преобразования низковольтного источника постоянного тока в переменный высокого напряжения с последующим выпрямлением, издает высокочастотный шум, равноценный по тональности писку. Было замечено, что домашние животные слышат этот шум и реагируют на него. Понятно, что при современном уровне техники создать индикатор для засечки работающего ПНВ не представляет затруднений.

3.3.2. Пассивные приборы II поколения

Создание усилителей яркости изображения на микроканальных пластинах (МКП) ознаменовало новый, очень важный этап в развитии техники ночного видения. С разработкой МКП и созданием на их основе нового, II поколения пассивных приборов ночного видения была решена такая важная проблема, как обеспечение эффективного действия вооружения в ночных условиях на тех же дальностях, что и днем, без особого ухудшения подвижности подразделений и отдельных солдат при выполнении тактических задач. Уменьшение габаритных размеров и массы прицелов к стрелковому оружию и ручным противотанковым гранатометам, улучшение видимости при ярких засветках, создаваемых встречными выстрелами, трассерами

снарядов и пуль, осветительными средствами, создали условия для выполнения задач с большей эффективностью, чем с ПНВ I поколения. Большим шагом вперед явилось создание пассивных очков ночного видения, что обеспечило проведение таких важных работ, как минирование и разминирование, инженерные работы, ремонт боевой техники и т. п., с обеспечением скрытности. Появление очков дало толчок к созданию так называемых гибридных приборов, сочетающих пассивный характер разведки целей с ведением по ним огня в подвижных формах боя, с ходу, практически из любого положения, где прибором ночного видения являются очки, укрепленные на шлеме.

Разработкой ЭОП с МКП в США были заняты более 10 фирм, а в Европе — около двух десятков. Изготовлением МКП занимается фирма «Хамамацу» в Японии, где, по-видимому, идет разработка, а возможно, и производство пассивных ПНВ.

С разработкой МКП, которые применяются в пассивных ПНВ II и III поколений, удалось решить задачу, поставленную много лет назад: «Дальность действия ночью = дальности действия днем».

В введении и разд. 2 были упомянуты некоторые этапы истории создания и применения ПНВ в годы второй мировой войны. В послевоенные годы техника ночного видения развивалась за рубежом в зависимости от предпринимаемых в разное время военных акций империалистическими державами, и в первую очередь США.

Как известно, до 1955 г. было сделано немного: на вооружении армии США состоял активный ночной прицел «Суперснайперскоп» с дальностью действия около 200 м. Примерно такие же характеристики имели приборы, разработанные в странах Западной Европы. 60-е годы называют «золотым веком» ИК-техники, когда было завершено совершенствование активных ПНВ и были созданы сначала пассивные ПНВ на многокамерных ЭОП I поколения, а позднее и на ЭОП с микроканальными усилителями — МКП. Новые приборы пассивного типа резко изменили привычные взгляды на ПНВ, на их роль и значение в боевых действиях ночью. Именно в эти годы в военных уставах многих армий мира появились главы, в которых боевые действия ночью рассматриваются как обычный вид боевой деятельности войск. Резкий подъем в области разработки, производства и применения ПНВ начался во время агрессивных действий США во Вьетнаме, где войска

СРВ и партизаны Южного Вьетнама проводили свои наиболее удачные боевые операции именно ночью.

Военные неудачи США во Вьетнаме вызвали новый подъем в деле разработки более совершенных ПНВ в 80-х годах, которые называют «вторым золотым веком» ИК-техники, когда наряду с совершенствованием пассивных ПНВ I поколения и развертыванием производства еще более совершенных ПНВ II поколения, а также с завершением модернизации еще более чувствительных ЭОП для ПНВ III поколения были разработаны и запущены в производство принципиально новые тепловизионные приборы.

Качественный скачок в развитии ПНВ вообще и пассивных ПНВ в частности иллюстрируется данными табл. 3.3, в которой приводятся основные тактико-технические характеристики ПНВ трех поколений: ночных прицелов нулевого, I и II поколений для стрелкового оружия.

Примерно такое же соотношение по массе характерно и для артиллерийских прицелов: пассивный прицел II по-

Таблица 3.3

Сравнительные характеристики приборов ночного видения трех поколений

Тип прицела	Увеличение, крат	Поле зрения, град	Дальность действия, м, при ЕНО, лк		Габаритные размеры, мм			Масса, кг
			10^{-1}	10^{-3}	длина	ширина	высота	
ФРГ								
Активный прицел нулевого поколения B8V	4	7	300		320	175	255	2,6 (без батареи питания ИК-прожектора)
США и НАТО								
Пассивный прицел I поколения AN/PVS-2	4	10,8	400	300	440			2,7
Пассивный прицел II поколения AN/PVS-4	3,7	14,5	700	450	242	120	120	1,44

коления AN/TVS-5 (рис. 34) имеет массу 3 кг, а его предшественник — прицел AN/TVS-2 (слева вверху) — 6,8 кг. При этом изменились только масса и дальность действия; по конструкции прицелы идентичны, все их узлы взаимозаменяемы, кроме объективов.

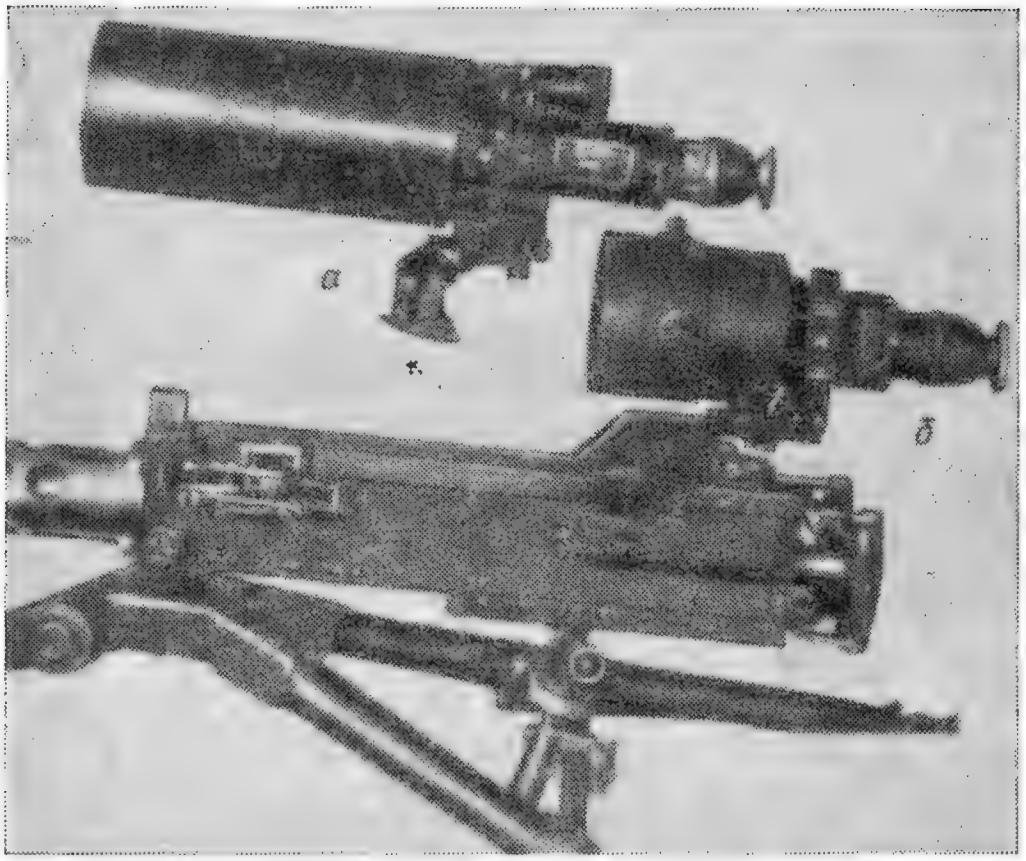


Рис. 34. Прицелы к тяжелому оружию:
AN/TVS-2 (*а*) и AN/TVS-5 (*б*)

В настоящее время пассивными ПНВ оснащаются:

а) В сухопутных войсках:

стрелковое (ручное) оружие и ручные противотанковые гранатометы;

станковые гранатометы и безоткатные орудия, тяжелые пулеметы;

противотанковая артиллерия;

танки, боевые машины пехоты и боевые разведывательные машины;

пушечные истребители танков;

подразделения инструментальной разведки и наблюдения.

б) В авиации — боевые вертолеты. Основным средством наблюдения являются очки и бинокуляры с дальностью наблюдения около 1000 м.

в) В ВМС — перископы подводных лодок (ПЛ). Так перископ подводной лодки типа «Трафальгар» имеет ночную ветвь CH84 с усилителем яркости изображения 30 000×, обеспечивающим наблюдение при ЕНО 10^{-3} лк. Диаметр входного окна 110 мм. Аналогичные приборы CH85 и CH86 при увеличении 1,5× и 6× имеют соответственно поле зрения 32 и 8 град. ПНВ имеют защиту от лазерного излучения. При максимальном диаметре основной трубы перископа ПЛ 254 мм топовая часть, где размещается ПНВ, имеет диаметр 70 мм.

Другая система ночного видения «корабль—корабль» с дальностью действия до 11 км (днем и ночью) обеспечивает обнаружение цели типа фрегат на дальностях 5,5—7,5 км при увеличении 1,4× и поле зрения 22°. Правда, указанные дальности достижимы при лунном освещении, т. е. при ЕНО 10^{-1} лк. Описанная система имеет название IRCOM и в качестве УЯИ использует трехкамерную трубку XX1060/01 фирмы «Муллард» с фотокатодом S20.

ВМС Нидерландов оснащаются пассивными ПНВ типа MS 7TS средней и большой дальности действия, обнаруживающими неосвещенный корабль на дальности 8—12 км. Прибор имеет увеличение 7× при поле зрения 7 град. Масса прибора 20 кг.

В настоящее время подавляющее число образцов вооружения оснащены пассивными ПНВ II поколения, конструкция которых вполне пригодна для замены трубок II поколения на трубки III поколения.

Весьма перспективным направлением дальнейшего развития вооружения с ПНВ II поколения является их объединение с другими, обеспечивающими определение координат разведываемых целей (угломерными приборами и лазерными дальномерами), несмотря на то что последние являются активным средством разведки, в известной степени демаскирующим боевые порядки своих войск. Правда, этот недостаток может принести ущерб в позиционной войне, а в современных подвижных формах боя он не так уж важен.

Норвежская фирма «Симрад» предложила модификацию прицела-дальномера, которая представляет собой пассивный прибор II поколения — прицел KN250 — с входной апертурой 75 мм и массой (с источником питания) 0,7 кг, сопряженный с широко известным лазерным дальномером

той же фирмы LP7. Другой вариант комплексирования осуществлен в Великобритании: прицел KN250 был установлен на новом армейском снайперском прицеле, в результате чего появилась возможность снайперской стрельбы в ночное время по неосвещенным целям. Такая комбинация позволяет одновременно наблюдать в дневной и ночной прицелы, обеспечивая тем самым непрерывное наблюдение независимо от освещенности. Даже внезапное осве-

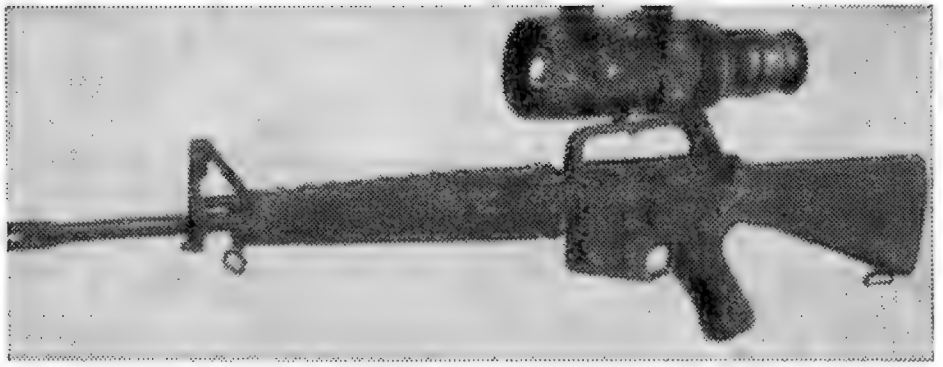


Рис. 35. Прицел «Старлайтскоп» NVS-700 с ЭОП II поколения

Рис. 36. Наблюдательный прибор M931 с лазерным дальномером на *GaAs*

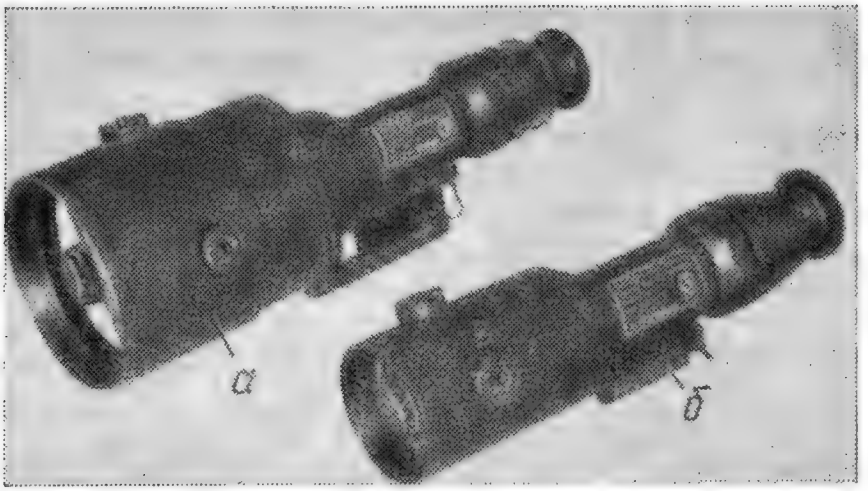


Рис. 37. Прицелы с ЭОП II поколения: «Миниоскоп 9823 Е» к 106-мм безоткатному орудию и 20-мм пушке (*а*) и «Гиперминиоскоп 9823» для стрелкового оружия и противотанкового гранатомета (*б*)

Рис. 38. Ночной водительский бинокуляр ОВ-41 с лазерной подсветкой на GaAs

щение, вызванное горением осветительной ракеты, не оказывает влияния на точность прицеливания.

Прибор KN250, объединенный с лазерным дальномером, представляет собой разведывательный комплекс для передовых постов наблюдения.

На рис. 35—41 изображены прицелы, наблюдательные приборы и бинокуляры ПНВ II поколения, широко применяемые в армиях многих стран.

Рис. 39. Прицелы с ЭОП II поколения RS4TS (*а*) и ОВ-50 (*б*) для ручного оружия

Тактико-технические характеристики разведывательных ПНВ II поколения приведены в табл. 3.4.

Рис. 40. Ночной бинокулярный наблюдательный прибор G2-4 с ЭОП II поколения, действующий на больших дальностях

Рис. 41. Прибор дальнего наблюдения NOD II

Таблица 3.4

Тактико-технические характеристики пассивных ПНВ II поколения

Наименование (шифр) прибора	Увеличение, крат	Поле зрения, град	Дальность действия, м, при контрасте 0,3 и ЕНО, лк		Габаритные размеры, мм			Масса, кг
			10^{-1}	10^{-3}	длина	ширина	высота	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Прицелы								
США								
AN/PVS-4 к стрелковому оружию (взамен прицела AN/PVS-2)	3,7	9	600	400	240	120	120	1,7
AN/TVS-5 к тяжелому оружию	6,2	9	—	800	310	160	170	3
M330 к стрелковому оружию	3,7	14	—	—	297	⌀ 89		1,7
M340 к тяжелому оружию	6,2	8,6	—	—	370	⌀ 155		3
M845 к легкому оружию	1,55	13,5	—	300/150	250	⌀ 60		0,98
M424 к 5,56-мм винтовке M16 серии I	—	16,7	—	—	225	⌀ 89		1,29
NVS-700 к 5,56-мм винтовке M16	3,5	14	700	450	292	⌀ 101		1,8
NVS-800 к тяжелому оружию	6	8,7	2000	1200	385	⌀ 165		3,9
«Гиперминископ M9823» к легкому оружию (AN/PVS-502)	3,5	10,9	—	—	370	⌀ 87		1,75
«Гиперминископ» для тяжелых пулеметов, 20-мм пушек и 106-мм безоткатных орудий (SO-5010TVS)	5,7	6,5	—	—	460	⌀ 150		3,95
ФРГ								
AN/PVS-4 к стрелковому оружию	3,5	14,5	600	400	240	120	120	1,5

Продолжение табл. 3.4

Наименование (шифр) прибора	Увеличение, крат	Поле зрения, град	Дальность действия, м, при контрасте 0,3 и ЕНО, лк		Габаритные размеры, мм			Масса, кг
			10^{-1}	10^{-3}	длина	ширина	высота	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Великобритания								
M1500 к пехотному оружию	3	10	Ок. 500		265	⌀ 76		1
W201 к пехотному оружию	3	12	500 (обеспечивает наблюдение на расстоянии до 5 км в зависимости от освещенности)		216	⌀ 110		1,2
Франция								
OB-50 к легкому пехотному и противотанковому оружию	3,2	11	400* 600**	150* 200**	230	⌀ 76		0,9
Комбинированный (OB-49) для 20-мм пушки	1,2 7	30 6	—	600	340	—	—	—
Нидерланды								
HV50×80AT к легкому пехотному и противотанковому оружию	5	10		500* 1500**	373	96	125	1,9
Мини-прицел RS4TS к пехотному оружию НАТО	4	10		500* 1000**	335	135	—	2,2
Мини-прицел GK4MC к легкому пехотному оружию	4	10		500* 1000**	290	98	45	1,5
Италия								
M193 к пехотному оружию	4,8	13		500	340	⌀ 83		1,9
ЮАР								
Мини-прицел MNS	2,6	15,8	900*	—	—	—	—	1,16

Продолжение табл. 3.4

Наименование (шифр) прибора	Увеличение, крат	Поле зрения, град	Дальность действия, м, при контрасте 0,3 и ЕНО, лк		Габаритные размеры, мм			Масса, кг
			10^{-1}	10^{-3}	длина	ширина	высота	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Австрия								
NSS-ZF4-80 к стрелковому оружию	4	—	—	400	180	120	95	1,3
Израиль								
ORT-T-2 к стрелковому оружию	3,5	—	700	450	—	—	—	1,9
Мини-прицел ORT-MS4 к стрелковому оружию	5	—	—	350	—	—	—	0,98
NLI-11 с баллистическим компьютером и лазерным дальномером для стрельбы ракетой	—	—	—	970	—	—	—	1,5
Приборы наблюдения и разведки								
США								
Компактный прибор M845	1,55	13,5	—	300*/150*	250	ϕ 60		0,98
Бинокуляр дальнего наблюдения G2-3A	3	14,5	—	588*/387* 1422**/995**	—	—	—	0,66
Ручной бинокуляр для наблюдения на больших дальностях G2-4 M9885	8	14,5	—	980*/650* 2030**/1425**	260	120	120	1,8
Прибор наблюдения и фотографирования на больших дальностях NOD II	9,4	5,6	—	1570*/1180* 3190**/2283**	410	260	260	11,6
Франция								
Пассивный бинокль OB-42	4	8	—	600**	—	—	—	2,2
Пассивный бинокль OB-44	2,5	11,5	600* 1200**	—	330	120	90	**2**

Окончание табл. 3.4

Наименование (шифр) прибора	Увеличение, крат	Поле зрения, град	Дальность действия, м, при контрасте 0,3 и ЕНО, лк		Габаритные размеры, мм			Масса, кг
			10^{-1}	10^{-3}	длина	ширина	высота	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ФРГ								
Прибор дальнего наблюдения «Найтек М93» СВ и ВМС	9,7	5,4	3000**	4000**	483	⌀ 244		9
Норвегия								
KN150	4	8	—	1500 ($3 \cdot 10^{-3}$ лк)		—	—	2,6

Примечания: 1. В графах 4 и 5 одной звездочкой отмечена пехота, а двумя — танки.

2. В числителе — дальность обнаружения, в знаменателе — дальность опознавания.

3.3.3. Очки ночного видения

Потребность в очках для ночного наблюдения на коротком расстоянии с большим полем зрения возникла еще в 50-е годы. Создание очков активного типа с ИК-прожекторами не привело к широкому их применению из-за непомерно больших размеров аппаратуры и неприемлемой для переносных приборов массы. В качестве приборов ближнего действия применялись обычно монокуляры, которые одновременно служили индикаторами для обнаружения ИК-прожекторов на больших расстояниях.

В БТТ применялись активные приборы перископического типа для вождения танков, а в качестве ИК-подсветки — фары, закрытые ИК-фильтрами. С разработкой УЯИ I поколения и созданием на их основе пассивных прицелов и наблюдательных приборов, а также водительских приборов и прицелов для БТТ были сделаны новые попытки разработки очков, но из-за больших габаритных размеров они не были запущены в серийное производство. Лишь с разработкой УЯИ II поколения на МКП и созданием на

их основе целой гаммы приборов наблюдения и прицелов почти во всех развитых странах были развернуты работы по созданию очков, которые привели к их широкому распространению во всех родах войск, в том числе и на флоте.

По своим характеристикам пассивные очки ночного видения большим разнообразием не отличаются. Как правило, увеличение очков однократное, а поле зрения варьируется в небольших пределах: для подавляющего большинства очков — 40 град и лишь очки немецкой фирмы «Электро Специаль» имеют поле 48 град, а очки американской фирмы «Хьюз» — 30×40 град. Масса очков колеблется от 550 до 1000 г. Конструкция очков предусматривает использование как одного ЭОП на МКП с одним объективом и двумя окулярами, так и бинокулярных очков с двумя ЭОП.

Очки нашли широкое применение во всех армиях ми-

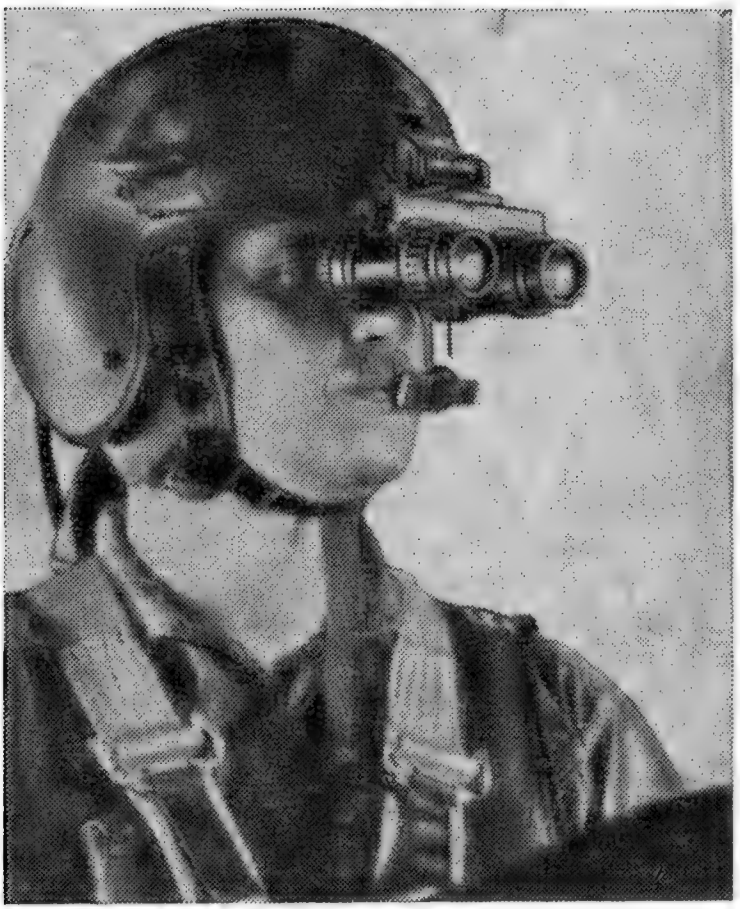


Рис. 42. Очки ночного видения AN/PVS-7 для вождения машин и стрельбы из оружия с лазерной подсветкой

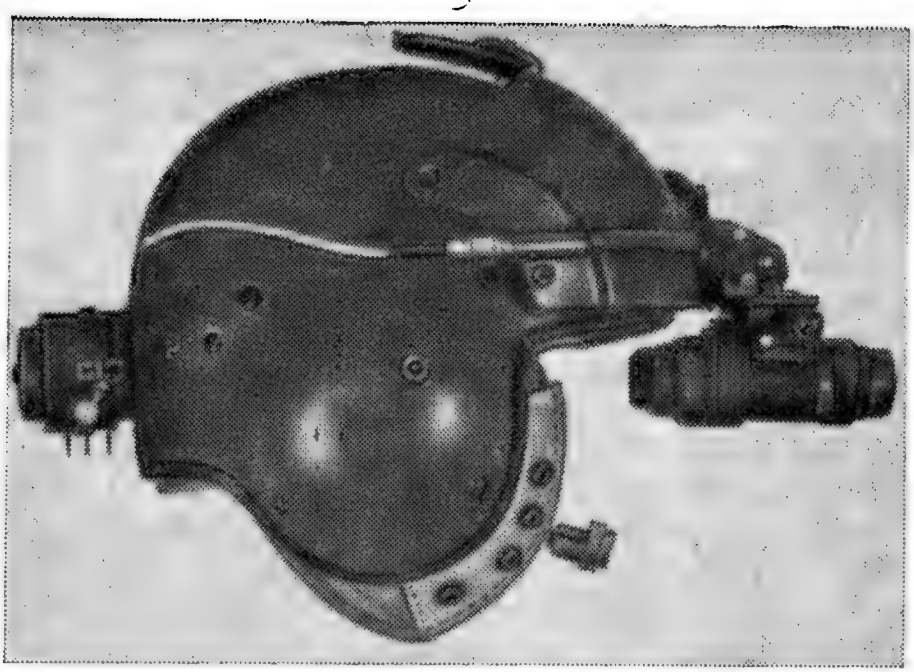


Рис. 43. Авиационные ночные очки ANVIS с ЭОП II—III поколений

ра, их выпускают десятки фирм США, Великобритании, ФРГ, Франции и других стран Запада. Характеристики очков приведены в табл. 3.5, а их общий вид показан на рис. 42 и 43.

Опыт эксплуатации очков продемонстрировал качества, обусловившие их применение не только при ремонте и обслуживании боевой техники в условиях темноты и светомаскировки и при выполнении штабных работ, но и в боевых условиях в качестве приборов вождения боевых машин и вертолетов и приборов наблюдения при активной подсветке целей в ночное время и стрельбе по ним из пехотного оружия с лазерными излучателями. Для выполнения работ в условиях ЕНО менее 10^{-3} лк, а также в подземелье и траншеях очки снабжаются дополнительным источником освещения в виде небольшой фары на лазерном диоде GaAs.

В 1980 г. американская фирма «Хьюз» начала работы по созданию очков нового типа — голографических очков ХОТ (НОТ), получивших в настоящее время широкое применение благодаря своим хорошим качествам, обеспечивающим устойчивую работу в условиях ослепления водителей боевых машин частыми вспышками выстрелов, пламенем ракетных двигателей и факелами осветительных

Таблица 3.5

Тактико-технические характеристики очков ночного видения

Тип прибора (шифр)	Трубки УЯИ		Увеличение, крат	Поле зрения, град	Дальность действия, м, при ЕНО, лк		Габаритные размеры, мм			Масса, кг
	поколение	число			10^{-1}	10^{-3}	длина	ширина	высота	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
США										
AN/PVS-5A	II	2	1	40	—	80	—	—	—	0,86
AN/PVS-6	III	2	—	—	—	—	—	—	—	0,463
AN/PVS-7	III	1	1	40	500*	усиление	—	—	—	0,76
AN/PVS-7B	III	1	—	—	—	—	—	—	—	0,68
HOT	II	1	1	30×40	—	—	—	—	—	0,55
NVA/211	II	1	1	40	—	—	—	—	—	0,45
M802	II	2	1	40	—	—	—	—	—	0,85
M909	III	—	—	—	—	100	—	—	—	0,86
G2-3A	II—III	1	1	40		200* 136* 565** 395**	—	—	—	0,69
Канада										
AN/PVS-504(V)	II—III	—	—	—	—	—	—	—	—	<0,75
Великобритания										
SS70	II	2	1	40	—	—	—	—	—	0,78—0,9
«PE Nova»	II	1	—	—	—	300	—	—	—	—
Франция										
OB-41 с лазерной подсветкой	II	2	1	33	250*	100*	—	—	—	0,9
TN2-1 с лазерным осветителем PSI на оружии	II	1	—	—	—	200	—	—	—	0,7
CN2H (OB-56) с ближней подсветкой	III	1	—	—	—	—	—	—	—	0,56 (с массой 0,935)

Окончание табл. 3.5

Тип прибора (шифр)	Трубки УЯИ		Увеличение, крат	Поле зрения, град	Дальность действия, м, при ЕНО, лк		Габаритные размеры, мм			Масса, кг
	поколение	число			10^{-1}	10^{-3}	длина	ширина	высота	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Швейцария										
NIVIGO с ближней подсветкой	III	1	1	40	—	—	150	70	110	—
BIG2 с лазерным осветителем на оружии и для подводных работ	II	—	—	—	—	—	200	130	166	0,58
Нидерланды										
PGIMS с осветителем ближнего действия	II	2	1	47	—	150	—	—	—	0,9
PCIMC «Циклоп»	II	2	1	48	—	150	118	122	67	0,485

Примечания: 1. В графах 6, 7 таблицы одной звездочкой отмечена пехота, двумя — танки.

2. В числителе — дальность обнаружения, в знаменателе — дальность опознавания.

снарядов и ракет с парашютирующими звездками, попадающими в поле зрения водителей.

В отличие от линз очков и оптических зеркал, использующих принцип преломления или отражения, голографические оптические элементы основаны на дифракции, когда голографическое зеркало *5* (рис. 44) проецирует изображение с экрана ЭОП *4* в поле зрения водителя, который при этом сохраняет возможность видения двумя глазами всего пространства, ограниченного маской. Голографическое зеркало *5*, обладая высокой спектральной селективностью, отражает свет в спектральной области свечения люминофора ЭОП и одновременно пропускает видимый свет. При этом оно является одновременно как бы фо-

кусирующим элементом и светоделителем. Таким образом, наблюдателю обеспечивается стереоскопическое видение двумя глазами (в случае освещения видимым светом) и видение в условиях темноты, когда машина с открытого участка входит в темный лес. Постоянство изображения, достигаемое автоматически в различных ситуациях по освещенности, обеспечивает комфортность и периферическое зрение.

Поскольку голографические очки абсолютно пассивны в работе, их нельзя обнаружить в ПНВ, так как голографическое фокусирующее зеркало отражает 98% излучения люминофора ЭОП и пропускает в глаз наблюдателя только около 2% зеленых лучей, при этом отраженный зеркалом свет направляется вниз. Очки полностью невидимы с расстояния 5 м в ночных условиях. Наблюдение водителем приборной панели не требует изменения положения головы во время движения, так как для этого достаточно на 1—2 с опустить вниз глаза. Благодаря своим дифракционным свойствам голографические очки обеспечивают более широкое поле зрения, чем обычные.

Голографические очки HNV-1, разработанные бельгийской фирмой OIP, монтируются на шлеме водителя объектов БТТ или пилотов вертолетов и низкоскоростных самолетов.

Питание очков осуществляется от стандартного источника тока напряжением 1,5 В с емкостью, обеспечивающей работу очков в течение 40 ч. Конструкция очков предусматривает их нормальное функционирование и при низкой температуре (до минус 40° С), а также в дождь без запотевания при длительном пользовании.

Фирма OIP надеется в скором времени заменить ЭОП с УЯИ II поколения на ЭОП III поколения с фотокатодом на арсениде галлия, что позволит вести наблюдение в спектральной области 0,9 мкм при ЕНО 10^{-3} лк, т. е. станет возможным вождение машин на 90% европейского ночного времени.

Эргономические качества голографических очков обеспечивают удобство их ношения при вождении машин. Принцип действия очков HNV-1 показан на рис. 44, а общий вид очков OIP — на рис. 45.

В связи с разработкой фирмой «Литтон» очков М909, представляющих собой новое промежуточное звено между II и III поколениями с улучшенными характеристиками — II+, а также в связи с высокой стоимостью приборов III поколения армия США ограничивает использова-

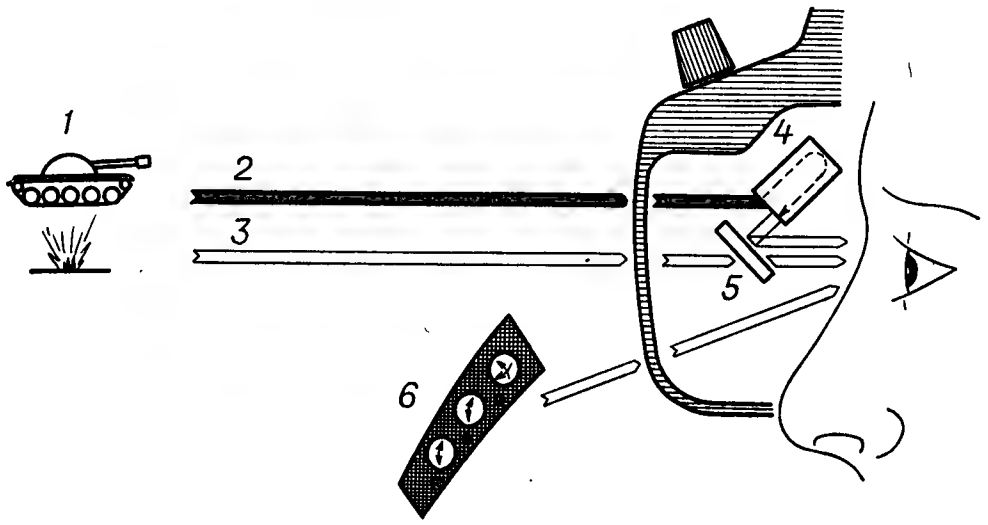


Рис. 44. Принципиальная схема работы ночных голографических **очков HNV-1:**

1 — объект наблюдения; *2* — слабый световой поток от цели; *3* — световой поток нормальной интенсивности; *4* — ЭОП II поколения; *5* — голографическое зеркало; *6* — приборная доска водителя

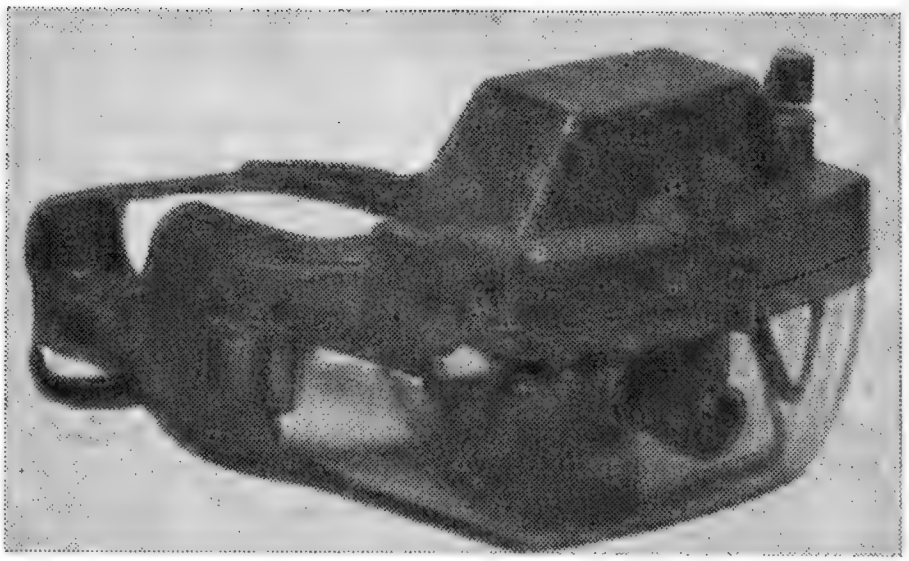


Рис. 45. Голографические очки HNV-1

ние дорогостоящих ПНВ III поколения очками AN/AVS-6, сконструированными специально для пилотов вертолетов с целью исключить даже единичные помехи их действиям при взлете и посадке.

Что же касается вооружения СВ, то здесь армия США будет в основном использовать ПНВ II поколения. Одна-

ко, учитывая, что ЭОП с МКП стандартизованы, в дальнейшем очки ночного видения предполагается оснастить трубками III поколения путем замены в войсках.

Армия США, по сообщениям зарубежной печати, старается расширить применение ПНВ в войсках. Пользуясь этим, компании повысили цены на элементы ПНВ, в результате чего контракт, заключенный с фирмами ITT и «Варо», охватывает все типы очков ночного видения, включая элементы II и III поколений (по данным 1986 г.), и является одним из самых крупных контрактов на ПНВ, заключенных армией США (527 млн. долларов). Аналогичные контракты заключаются с такими фирмами, как «Бэрд», «Литтон» и «Вариан».

3.4. Танковые приборы ночного видения

Танковые ПНВ по своему назначению, построению, энергетике и способам эксплуатации заметно отличаются от ПНВ — наблюдательных приборов и прицелов, используемых в СВ — пехоте, артиллерии, инженерных войсках, а также в авиации и ВМС.

С одной стороны, неограниченные возможности танков по энергетике и массе ПНВ предопределили их высокие тактико-технические характеристики, с другой стороны, проблема размещения этих приборов в танках потребовала всемерного сокращения габаритных размеров аппаратуры ПНВ, особенно входного отверстия для объектива, диаметр которого определяет наиважнейшие характеристики любого оптического прибора — дальность его действия и поле обзора.

Несмотря на это противоречие, усилиями конструкторов были созданы ПНВ, обеспечивающие вождение танков и других боевых машин, наблюдение целей и ведение по ним огня в ночных условиях с высокой эффективностью.

Как отмечают зарубежные специалисты, боевая эффективность танка определяется тремя условиями:

высокой подвижностью танка, которая обеспечивается не только мощностью его двигателя и ее соотношением с массой, но и в значительной мере характеристиками прибора вождения — полем зрения и качеством оптики, что имеет большое значение в ночное время в условиях ограниченной видимости;

качеством его брони, обеспечивающей надежную защиту;

огневой мощью танка, определяемой не только калиб-

ром его боеприпасов и их возможностями, но и качеством его системы видения.

В ночное время главную роль в реализации этих трех условий, а следовательно, и в обеспечении боевой эффективности танка играют приборы ночного видения — водительский прибор и приборы наблюдения и прицеливания.

Прибор для водителя должен обеспечивать наблюдение в возможно более широком поле зрения с высоким качеством изображения, чтобы водитель мог хорошо видеть дорогу и препятствия на ней и предотвратить аварийные ситуации во время движения.

Приборы наблюдения и прицеливания, действующие на больших дальностях, должны обеспечивать своевременное обнаружение и опознавание целей на дальностях эффективного действия вооружения танка. Поэтому роль ПНВ в танке очень велика в ночное время — ведь только они служат для зрительной связи экипажа с внешним миром. Высокие характеристики приборов, которыми оснащаются танки, обеспечивают не только эффективность огневого воздействия, но и второе качество наряду с броней — его защиту.

К приборам ночного вождения танков предъявляются следующие требования:

по увеличению — 1×, с тем чтобы избежать ошибок в определении расстояния и тем самым предотвратить аварии;

по полю зрения — в угле по вертикали 15—25 град и по горизонтали 40—50 град.

При этом смотровые блоки и перископы ночного видения должны быть хорошо согласованы по полю зрения, чтобы избежать разрывов в поле зрения водителя.

В активных ПНВ, которыми оснащались танки в конце второй мировой войны, эти задачи решались довольно трудно, так как поле зрения ограничивалось прожектором, имевшим узкий луч, как и в прицелах. Все это диктовало необходимость создания приборов без подсветки.

При создании пассивных приборов ночного видения также возникали проблемы, связанные с обеспечением (помимо дальности действия) таких характеристик, как габаритные размеры приборов, повышение устойчивости работы ПНВ в условиях сильных засветок на поле боя. Большинство этих проблем решено только с разработкой ПНВ II поколения.

Разработаны два вида водительских приборов танка: бинокулярные и панорамные (экраны). Бинокулярный

прибор имеет два полностью независимых канала и обеспечивает стереоскопическое зрение, т. е. пространственную оценку обстановки при вождении, а также большую надежность — при выходе из строя одного из каналов можно пользоваться вторым. Экранный тип прибора упрощает вождение машины благодаря свободной осанке и свободному положению головы водителя во время наблюдения.

В США начинают отдавать предпочтение системам вождения экранного типа, т. е. с бинокуляром, в то время как в европейских странах предпочитают бинокулярные перископы.

На рис. 46 изображен наиболее распространенный тип бинокулярного перископа — прибор с УЯИ II поколения NDS-2 фирмы «Берд».

Приборы наблюдения и прицелы танков и бронемашин представляют собой в большинстве случаев перископы прямого видения с одним каскадом усиления, т. е. с двухкамерным ЭОП I поколения.

В большинстве танков функции приборов наблюдения и прицеливания выполняет один прибор; обычно телескоп для наводки и прицеливания или перископ с изменяемым углом положения зеркала в панорамической головке.

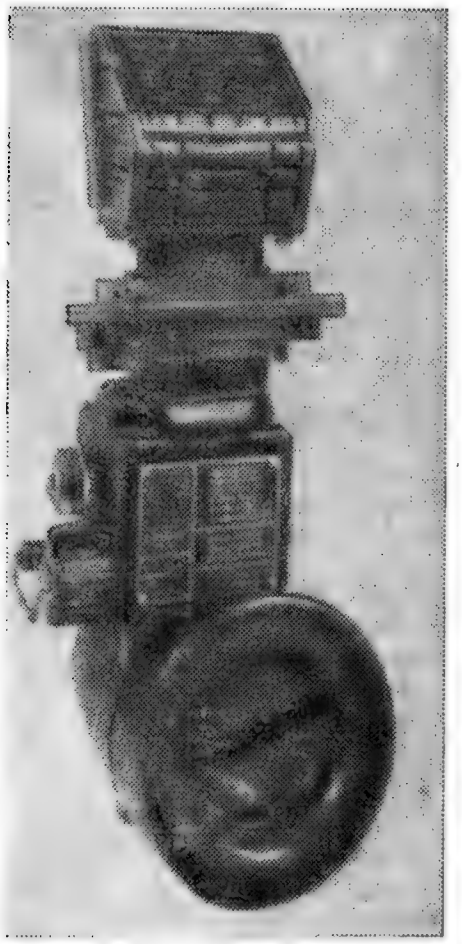


Рис. 46. Пассивный прибор NDS-2 для вождения БТТ в ночных условиях

Телескоп из-за сложности конструкции заставляет наводчика занимать неудобное положение, зато обеспечивает качество изображения. Окулярная часть прибора жестко соединена с башней. Положительным качеством телескопической системы является также сведение к минимуму ошибок в прицеливании.

Перископы, как и телескопические системы, имеют увеличение 5—9×, но в них в отличие от телескопов есть еще одно окно для наблюдения с увеличением 1×, хотя и не

всегда обеспечивается необходимая точность по параллаксу.

В пассивных прицелах используются трубки II поколения, но активные и пассивные прицелы I поколения все еще применяются. Эти прицелы обычно представляют со-

Таблица 3.6

Тактико-технические характеристики приборов ночного видения для бронетанковой техники зарубежных стран

Наименование прибора	Поколение ПНВ	Увеличение, крат	Поле зрения, град	Дальность действия, м, при ЕНО, лк		Масса, кг	Применение
				10^{-1}	10^{-3}		
США							
Командирский перископ мод. 9891	II	4	10,5	763* 1215Θ 1863**	448* 715 Θ 1096**	—	
Водительский перископ мод. 9892	II	1	40	200* 235 Θ 452**	117* 187Θ 395**	—	
Пушечный перископ мод. 9894	II	8 д 7 н	8 д 7,5 н	1316* 2100 Θ 3220**	626* 1000 Θ 1533**	—	
Водительский бинокулярный прибор AN/VVS-2	I	1	45×38	—	80	7	
Бинокль командира (активный)	0	3,5	12,5	750 (с прожектором)		6,5	Танки M60, M60A2, M60A3
ФРГ							
Водительский активно-пассивный бинокуляр «Peri-DS-53»	0/I	—	10×55	80(акт.)/100		7,6	БТТ бундесвера
Пассивный прибор и прицел PNZBG-WOE с теплопеленгатором (ТПП)	—	—	—	2000** ТПП в виде яркой точки		—	БМП «Мардер» (1/3 парка БМП)
Франция							
Комбинированный прицел ОВ-40	II	6 д 4,5 н	10 д 5,5 н	2000 д 1500 н		—	20-мм пушка танка

Примечание. Одной звездочкой обозначена пехота, двумя — танки; д — день, н — ночь, знак Θ — джип.

бой монокуляры и располагаются в танках параллельно дневному прицелу.

Основные характеристики некоторых зарубежных приборов наблюдения и прицелов для бронетанковой техники приводятся в табл. 3.6.

В 80-х годах наметилась совершенно определенная тенденция к перевооружению парка БТТ тепловизионными приборами наблюдения и прицеливания, а также водительскими приборами, которые описываются в разд. 5.

3.5. Низкоуровневое телевидение (НУТВ)

О применении телевидения в военной технике написано значительно меньше, чем о ПНВ или тепловидении, описанию которых посвящены страницы рекламы в военных и военно-технических журналах за рубежом. Может быть, причиной этому является широкое распространение коммерческого телевидения, воспринимаемого сегодня как средство развлечения.

Обычное представление о роли телевидения в военном деле состоит в передаче репортажной камерой картины боя на участке стрелкового взвода, как это делается в коммерческом телевидении, когда передаются уличные демонстрации или футбольный матч, где передача ведется десятком полустационарных камер. Информация такого рода вряд ли удовлетворит старших начальников на командном пункте, особенно в подвижных формах боя.

Но если говорить о круглосуточной разведке в определенном направлении или в заданном секторе, то трудно найти более информативную и управляемую систему наблюдения, чем низкоуровневое телевидение. В самом деле, помимо обеспечения возможности наблюдения в реальном масштабе времени и в интервале освещенности 10^5—10^{-5} лк не только командиру, но и всем членам экипажа одновременно телевидение позволяет записывать и многократно воспроизводить, закладывать в память, подвергать цифровой обработке или превращать в электронные сигналы управления любую картину. Поэтому наряду с приборами ночного видения и тепловидением все большее и большее внимание уделяется созданию телевизионных и интегрированных систем с применением низкоуровневого телевидения. Несколько лет назад считали, что телевидение не отвечает требованиям наблюдения при освещенности 10^{-3} лк, но с развитием твердотельной техники (см. разд. 2) положение изменилось, и теперь НУТВ является достаточно

распространенным и надежным средством наблюдения всех родов войск.

Телевидение применялось в качестве средства воздушной разведки во второй мировой войне и зарекомендовало себя как источник достоверной информации, позволяющий наблюдать результаты действий бомбардировочной авиации и сражений на морском театре военных действий, а также как средство разведки на огромных пространствах суши.

Разработка чувствительных трубок для передающих камер с применением усилителей яркости изображения открыла новое направление в технике ночного видения — низкоуровневое телевидение, развитие которого шло одновременно в нескольких направлениях, как это было с электронно-оптическими приборами ночного видения и тепловидением.

В сухопутных войсках НУТВ получило признание и развитие в качестве средства наблюдения и обеспечения стрельбы ночью и днем в танках, что объясняется некоторой громоздкостью ТВ-аппаратуры и значительным потреблением мощности для ее питания, особенно в начальный период становления и развития.

НУТВ, как ПНВ и ТВП, является абсолютно пассивным средством в пределах использования информации внутри объекта без выхода в эфир. К числу положительных качеств телевизионной аппаратуры относится возможность ее установки вне танка с передачей информации к местам расчета по проводам или волоконно-оптическим линиям связи, в то время как размещение других систем и приборов наблюдения требует специальных шахт и каналов связи.

Одной из первых телевизионных камер для разведки, целеуказания и наведения оружия в ночных условиях была камера GE, разработанная известной фирмой «Дженерал электрик» в США. В качестве чувствительного элемента был использован видикон с трехкамерной трубкой УЯИ на входе. Мощность, потребляемая камерой, не превышала 12 Вт. Разрешающая способность камеры — 500 строк. Камера используется в ВВС и ВМС США с 1968 г. С разработкой телевизионных трубок с кремниевой мишенью — кремниконов — с хорошими характеристиками по чувствительности при ЕНО около 10^{-3} лк была создана первая система управления огнем (СУО) для штурмового вертолета AH-1G.

Другая дистанционно управляемая камера для наблю-

дения в темноте, снабженная высокочувствительным видиконом, позволяет обнаружить человека в рост на расстоянии 800 м в полной темноте, применяется она для охраны военных объектов.

Корпорацией канадских ВС разработана передающая ТВ-трубка также на кремниевой технологии, коэффициент усиления которой даже с одним каскадом УЯИ достигает 150 000 при хороших показателях по разрешающей способности. Трубка применяется в системах НУТВ для навигации кораблей и самолетов.

На Европейском континенте НУТВ получило довольно большое распространение в наземных системах вооружения, в частности на танках. Так, известная французская фирма «Томсон CSF», специализирующаяся на видеоаппаратуре, разработала несколько модификаций прибора наблюдения для танков AMX-10, AMX-30 и AMX-40, где в качестве передающей трубки используются «Супернокстикон» с кремниевой мишенью (AMX-10 и AMX-40) и «Суперортикон» с усилителем яркости в системе НУТВ DIVI 13A. Поле зрения системы DIVI танка AMX-40 4×5 град при четкости 625 строк и частоте 25 кадров. Мониторы командира танка и наводчика орудия имеют размер по диагонали 110 мм.

Разработанная для танка AMX-30 система TMV216 (рис. 47) имеет поле зрения 5 град при входной апертуре 1:1,5 и фокусном расстоянии 230 мм. Автоматический затвор и дистанционно управляемая фокусировка обеспечивают надежную защиту от световых перегрузок и хорошую четкость изображения. Видеомониторы, как и в AMX-40, имеют размер 110 мм.

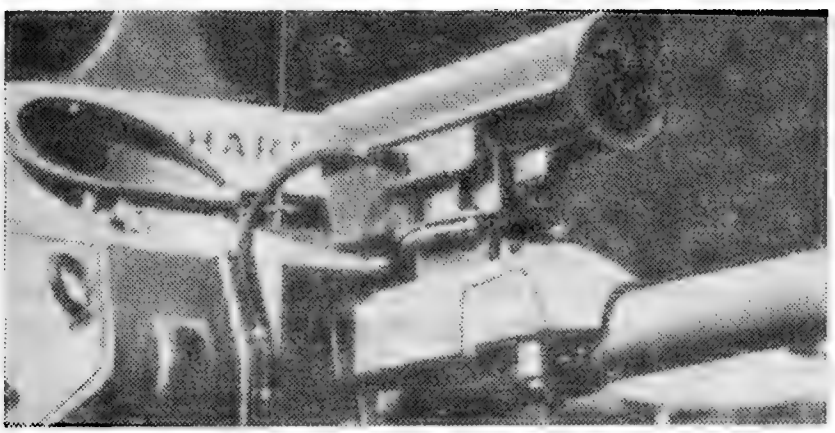


Рис. 47. Низкоуровневая ТВ-камера TMV216, сопряженная с РЛС в объектах БТТ и ВМС

Аналогичная система для разведывательных машин и военно-морских радиолокационных установок (рис. 48) оснащена камерой TMV210, обеспечивает наблюдение целей как днем, так и ночью и является средством визуальной

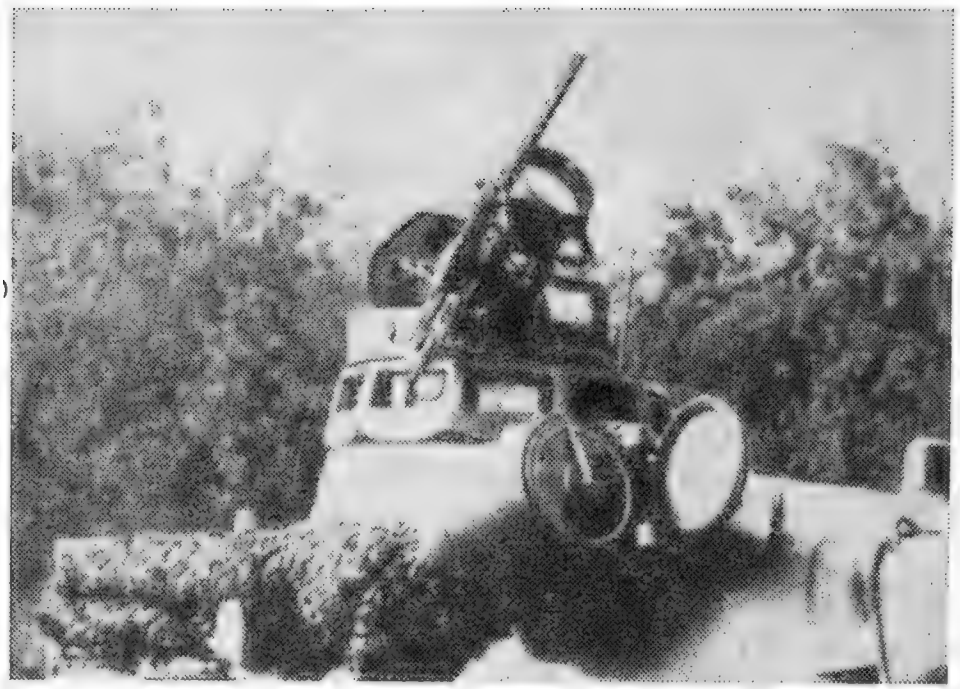


Рис. 48. Низкоуровневая ТВ-камера на танке АМХ-30

разведки РЛС. ТВ-камера танка АМХ-10 используется также и на вертолетах с углом поля зрения от 30 град (для обзора) до 6 град (для опознавания цели). Ось камеры фиксируется относительно вертолета, а линия визирования с помощью гиростабилизированного зеркала, установленного между смотровым окном и оптикой камеры, сохраняется независимой от изменения положения вертолета в пространстве.

Довольно широкое распространение получила разработанная той же фирмой НУТВ система «Каназта» с баллистическим компьютером, обеспечивающая круглосуточную работу с помощью трубки «Суперноктикон» в диапазоне освещенности 10^5—10^{-4} лк с разрешением 0,25 мрад и полем зрения 5,5×4,1 град. «Каназта» устанавливается на танки М48, «Центурион», «Леопард», АМХ-13 и на машины EPC90, PAC90, DML90 и «Сагэр».

Другая низкоуровневая телевизионная система PZB200 разработана в ФРГ фирмой «Телефункен» для танков

«Леопард 1», «Леопард 2» и М48. Угол поля зрения системы 4°30′; телевизионный прицел обеспечивает наблюдение целей на дальности 1200—1500 м в широком интервале ЕНО. В бундесвере эта система была введена в состав танков первого выпуска «Леопард 2» и 1/3 парка танков «Леопард 1» как промежуточное решение в оснащении танков пассивными приборами ночного видения взамен активных ПНВ. С поступлением тепловизионной аппаратуры, изготовленной на предприятиях фирмы «Цейсс», танки «Леопард 2», «Леопард 1», БМП «Мардер» и БРМ «Лукс» стали оснащаться этой аппаратурой в системе управления огнем EMEs15.

Аналогичным прибором кругового обзора оснащены ЗРК «Роланд», где командирский прибор PB35P обеспечивает возможность круглосуточного наблюдения в сфере действия ЗРК.

Из других европейских систем НУТВ можно назвать системы 771 и 772. Первая (771) на кремниконе RCA 4849H с разрешением 550 линий применяется для обнаружения морских целей в системах автоматического управления огнем. Вторая (772) входит в состав СУО танка и обеспечивает наблюдение целей при ЕНО $2 \cdot 10^{-6}$ лк и 100% контрасте на дальности 1000 м с разрешающей способностью 200 линий. В качестве цели использовались объекты высотой 1,5 м.

Главным недостатком систем низкоуровневого телевидения является высокая стоимость, хотя их производство и совершенствование не прекращаются.

3.6. Тенденции развития техники ночного видения

Первое поколение каскадных систем усиления света в ПНВ начало вытесняться однокамерными трубками с усилителями II поколения на МКП еще в 70-е годы, хотя производство ПНВ I поколения и их использование продолжаются и поныне.

ПНВ с трубками II поколения, уступая своим предшественникам по чувствительности, превосходят их по компактности, величине массы и устойчивости работы в условиях световых помех. Первые два качества позволили резко сократить габаритные размеры и массу ПНВ, улучшив ТТХ ночных прицелов и тем самым их боевую эффективность. Что же касается устойчивости работы в условиях засветок, то ПНВ II поколения в случае попадания засветки в поле зрения прибора наблюдают ее не в виде ореола,

заполняющего все поле зрения, а в виде светлой точки, занимающей один или несколько микроканалов в зависимости от угловых размеров источника света, не ухудшая видимости в остальной части поля зрения. Локальный характер засветки для ПНВ II поколения является источником информации для точного определения координат средства помехи при условии расположения ПНВ на неподвижном объекте или треноге.

Особое значение трубок II поколения состоит в том, что с их помощью были созданы очки ночного видения, в результате чего появилась возможность использовать оружие с ПНВ не только в позиционных военных действиях, где прицеливание и стрельба ведутся пехотой с места, но и на ходу, когда оружие снабжено миниатюрным осветителем с узким лучом, с помощью которого ведется наводка оружия (см. разд. 4). Это обстоятельство имеет важное значение для боевых действий пехоты в подвижных формах боя.

Появление УЯИ III поколения, использующих эффективные фотокатоды на арсениде галлия, которые повысили дальность действия ПНВ по сравнению с ПНВ II поколения более чем на 30%, позволило значительно улучшить ТТХ прицелов и обеспечить выполнение боевой задачи: «Дальность действия оружия ночью равна дальности действия оружия днем».

Несмотря на это, в США не спешат с внедрением новых трубок III поколения, стоимость которых почти в 2 раза выше стоимости усилителей II поколения (5500 долларов вместо 2500). Основные заказы прицелов к стрелковому оружию в США приходятся на ПНВ с трубками II поколения. Однако Великобритания, учитывая опыт применения ПНВ в Фолклендской операции, придерживается иного мнения, поэтому новую легкую винтовку 5,56-мм калибра SA80 предполагается оснастить ночным пассивным прицелом с трубкой III поколения.

В настоящее время на винтовке SA80 установлен прицел «Кит» («Коршун»), обеспечивающий ведение прицельного огня в защитном костюме и респираторе S6 или S10 (рис. 49). Прицел «Кит» является первым в мире прицелом, корпус которого изготовлен из пластмассы (поликарбоната), что позволило снизить массу прицела до 1 кг с сохранением прочности, необходимой в жестких условиях эксплуатации. Прицел «Кит» оснащен усовершенствованной оптикой и улучшенным вариантом трубки II поколения (трубка II+), что обеспечивает обнаружение человека на

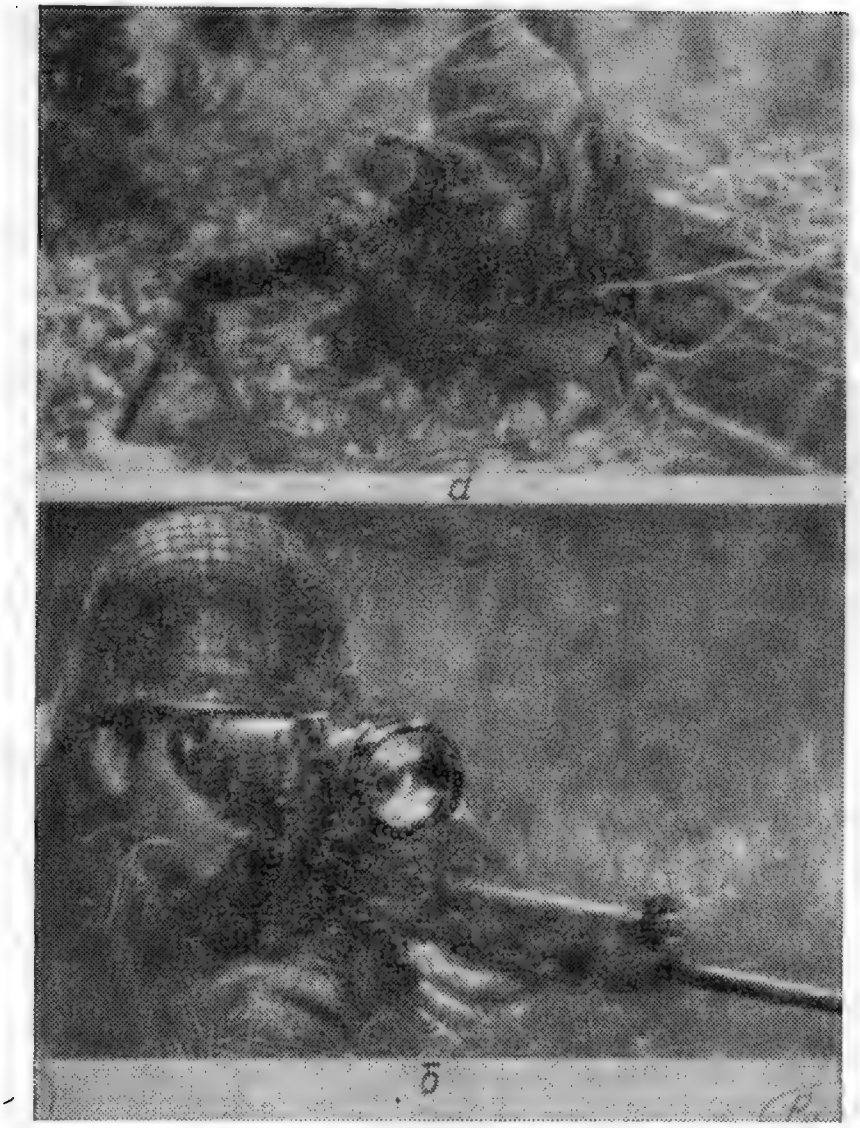


Рис. 49. Английский ночной прицел «Кит» («Коршун») (*а*), в который устанавливается ЭОП III поколения, и прицел II поколения VA116 (*б*)

дальности 600 м при свете звезд. Именно в этом прицеле предполагается применить трубку III поколения, для чего с фирмой «Инглиш Электрик Волв» заключен контракт на 40 млн. фунтов стерлингов. Эта трубка массой менее 100 г улучшает отношение сигнал/шум в 4 раза по сравнению с трубкой II поколения.

Состоящий на вооружении британской армии прицел SS80 с трубкой II поколения, устанавливаемый на различные образцы легкого стрелкового оружия, заменяется новым, более легким прицелом SS82 массой 0,7 кг. Армейские винтовки оснащаются ночным пассивным прицелом

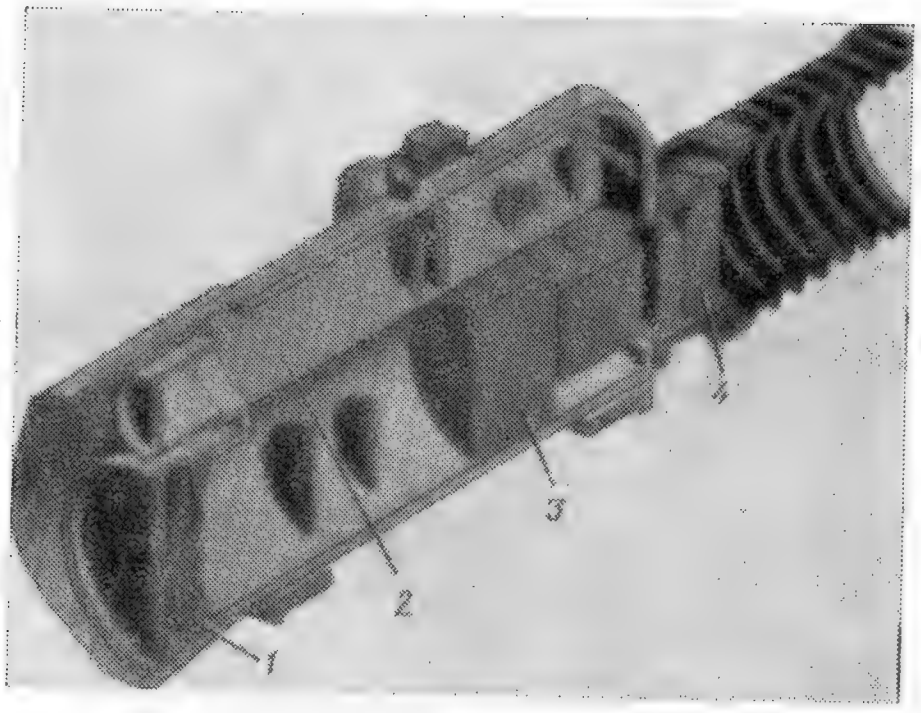


Рис. 50. Устройство комбинированного прицела день/ночь для стрелкового оружия:

1 — объектив ночной ветви; *2* — дневная ветвь; *3* — трубка УЯИ II или III поколения; *4* — окуляр

SS84, а на тяжелое вооружение большого калибра устанавливаются прицелы SS86, обслуживание которых ведется боевыми расчетами.

Консорциум фирм USH, включающий фирму «Оптикс Электрик Корпорейшн» (США), «Авимо» (Великобритания) и «Сопелем» (Франция), изготавливает ПНВ AN/PVS-7, AN/PVS-5A и AN/PVS-4 с трубками II поколения и прицел LNS90 для стрелкового оружия с трубкой III поколения, специально сконструированной для установки в прицелы, предназначаемые для оружия 5,56-мм и 7,62-мм калибра.

Новым направлением в ПНВ являются интегрированные системы — прицелы день/ночь, сопряженные с дальномером и баллистическим вычислителем. Так, французская фирма «Сопелем» приступила к разработке комбинированного прицела с дневной и ночной ветвями, обеспечивающего ведение прицельного огня в ночных условиях при резко изменяющихся условиях освещенности. Основой для разработки прицела является штатный ночной прицел ОВ-50, состоящий на вооружении французской армии, с увеличением 3× и полем зрения 10 град.

В новом прицеле (рис. 50) верхнюю часть корпуса за-

нимает дневная ветвь *2*, заканчивающаяся перископическим зеркалом, направляющим изображение на призму-расщепитель, а от нее — в окуляр. Ночная ветвь, занимающая основной объем прицела, состоит из объектива *1* и усилительной трубки *3*. Окуляр *4* является общим для дневного и ночного каналов. Предполагается, что дальность обнаружения стандартной мишени НАТО размером 2,3×2,3 м в этот комбинированный прицел при освещенности 10^{-3} лк составит 600 м в случае, если в качестве УЯИ будет применена трубка III поколения.

Бельгийская фирма «ОИП Оптика» помимо голографических очков, описанных выше, выпускает прибор прицеливания и управления стрельбой LRS4 МкII, в котором объединены дневной и ночной каналы, лазерный дальномер и баллистический вычислитель.

Аналогичный прибор разрабатывает израильская фирма IT(L), в котором ночной прицел имеет встроенный дальномер и баллистический вычислитель. Прибор массой 1,5 кг предполагается использовать для стрельбы с плеча ракетой на дальности до 970 м.

В новых ночных прицелах норвежской фирмы «Симрад» KN200 и KN250 неувеличенное усиленное изображение, полученное в ночном прицеле, проецируется на вход стандартного дневного прицела. Прицелы легко устанавливаются на оружии с помощью защелок и не требуют дальнейшей юстировки с осью канала ствола. Эти же прицелы можно устанавливать на лазерных дальномерах LP3, LP7, 4P100 той же фирмы, как это имело место в прицеле KN150.

Стремление к всемерному объединению в одном приборе дневного и ночного видения для средств БТТ привело английскую фирму «Пилкингтон» к созданию прицела «Сейбр», отличающегося высокой компактностью, что делает возможной его установку в машины разных типов. Ночная ветвь прицела, включающая УЯИ II и III поколения, обеспечивает опознавание стандартной цели НАТО (2,3×2,3 м) на дальности 600—800 м в безлунную ночь при ясном небе.

Эта же фирма предлагает также комбинированный прибор «Оспри», оснащенный, кроме того, лазерным дальномером, что существенно повышает качества боевой машины «Уорриод», для которой он предназначен. Модульная конструкция прибора предполагает применение в ночном канале не только УЯИ II или III поколения, но и тепловизионного прибора.

4. ПАССИВНО-АКТИВНЫЕ ПРИБОРЫ НАБЛЮДЕНИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРЕЛЬБЫ НОЧЬЮ

Казалось, что с разработкой пассивных ПНВ все проблемы ночных боевых действий будут решены: абсолютная скрытность действия пассивных ПНВ всех поколений и дальность действия, отвечающая огневым возможностям оружия, обеспечивают в полной мере решение тактических задач разведки и подавления обнаруженных целей практически из всех видов оружия СВ.

Однако стрелок, даже вооруженный очками ночного видения, не в состоянии вести прицельный огонь в атаке с ходу, так как, несмотря на короткофокусные объективы ночных очков, он не может достаточно четко видеть прорезь прицела оружия, мушку и цель, особенно при стрельбе навскидку и с бедра, как в дневное время, и в результате его действия оказываются малоэффективными. Поэтому в технике и тактике ночного видения был сделан как бы шаг назад к активному способу освещения цели, вернее, к прицеливанию с помощью прожектора-осветителя и разработана новая система ведения огня, основанная на обнаружении цели в пассивном режиме с помощью очков и освещении ее узким лучом ИК-осветителя, называемого за рубежом маркером, в пределах ее габаритных размеров для поражения огнем оружия, на котором установлен осветитель. Конечно, в этом случае прицельный огонь по цели могут вести и другие стрелки, а работа осветителя будет ограничиваться только целеуказанием. При этом необходимо иметь в виду, что излучение осветителя — маркера по рабочей длине волны должно отвечать спектральному диапазону своих очков.

Схема действия такого, как его называют за рубежом, **гибридного ПНВ** приведена на рис. 51, где изображен стрелок, вооруженный винтовкой или автоматом, на стволе которого смонтирован ИК-осветитель, согласованный с

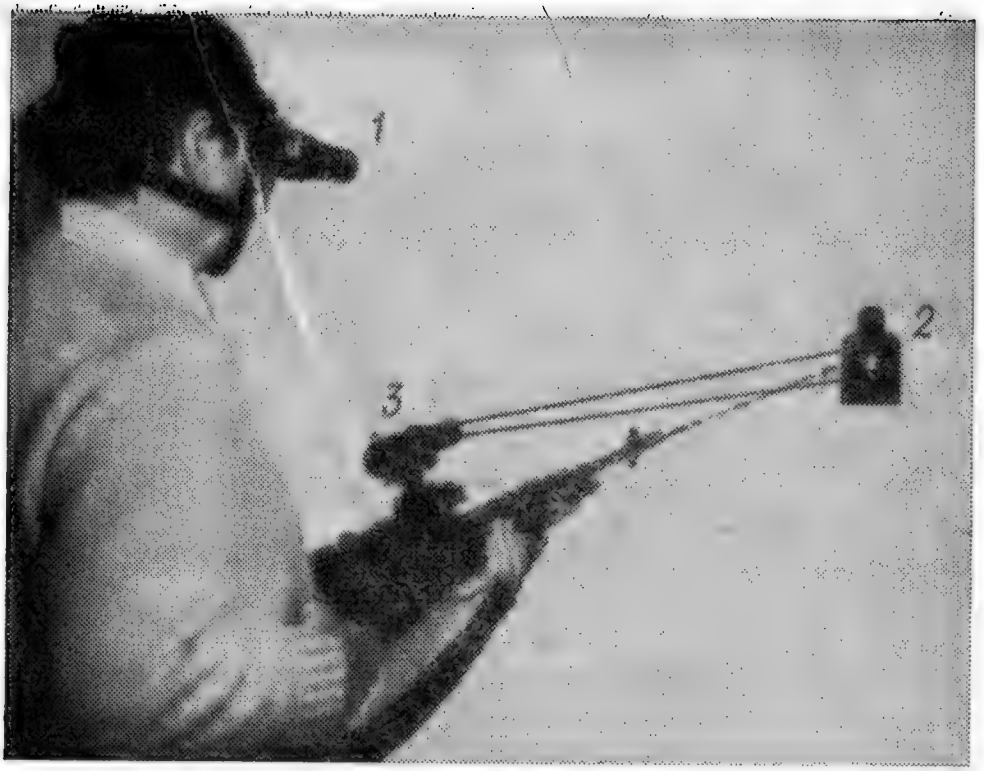


Рис. 51. Принцип ночной стрельбы стрелком, вооруженным очками ночного видения (*1*), ведущим огонь по цели (*2*) из оружия, оснащенного лазерным осветителем (*3*), согласованным с осью канала ствола

осью канала ствола оружия. Стрелок в пассивных очках, обнаружив цель, включает осветитель и, наведя видимое ему в очки пятно на цель, открывает огонь. Так как осветитель обладает очень узким раствором луча, угол которого может быть приведен в соответствие с кружком рассеяния пуль, то эффективность стрельбы на различных дальностях будет практически определяться характеристиками оружия и умением стрелка удерживать пятно на цели вплоть до ее уничтожения. Учитывая жесткие требования по углу расходимости, в качестве осветителя был выбран лазерный излучатель на арсениде галлия, излучающий в диапазоне длин волн 0,82—0,9 мкм (в пределах спектральной чувствительности очков) в угле порядка одной тысячной, т. е. около 3,6 угл. мин.

Излучатель на арсениде галлия, или, как его еще называют, лазерный диод, работает в импульсном режиме, без охлаждения и имеет практически неограниченный срок службы. В настоящее время он получил довольно широкое распространение в технике ночного видения в качестве осветителя целей в пассивно-активных системах стрельбы в

ночное время, а также в лазерных дальномерах, используемых вместе с пассивными ПНВ в приборах ночной разведки и дальнометрирования.

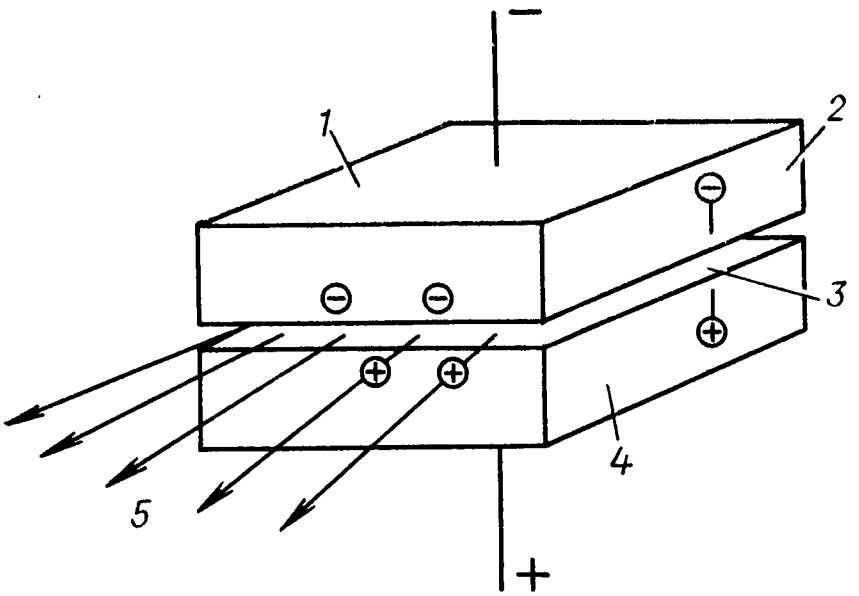


Рис. 52. Принцип действия полупроводникового лазера на арсениде галлия:

1 — контакт; *2* — *n*-полупроводник; *3* — *p* — *n*-переход; *4* — *p*-полупроводник; *5* — стимулированное излучение

Принцип действия лазера на арсениде галлия (рис. 52) состоит в следующем. К двум полупроводниковым тонким кристаллам, изготовленным из арсенида галлия с *n*- и *p*-проводимостью и соединенным вместе, подводится напряжение источника постоянного тока, в результате чего в месте соединения кристаллов полупроводников возникает диффузия частиц из одного слоя в другой и вынужденное излучение в ИК-области спектра с длиной волны 0,82—0,85 мкм. Резонатором лазера, поддерживающим непрерывный процесс излучения, являются полированные поверхности кристаллов, к которым подводится напряжение. Так как источник тока инициирует непрерывную инжекцию частиц в *p*—*n*-переходе, поддерживая рекомбинацию электронов и дырок, лазеры такого вида называются инжекционными. В качестве первичного источника тока лазера применяется литиевая батарея напряжением 8,1 В и емкостью около 0,5А · ч, обеспечивающая непрерывную работу лазера в течение 12—16 ч. Другие виды излучателей и очков показаны на рис. 53, 54 и 55.

Лазерные излучатели на арсениде галлия используются не только для ночного прицеливания оружия, но и как подсветка в ночных очках для чтения карт, при ремонте оборудования и техники в помещениях, где вообще отсутствует свет, в труднодоступных местах, а также в тех случаях, когда ЕНО ниже 10^{-4} лк. Излучатель вместе с источником тока размещается в зависимости от назначения либо на стволе оружия, либо в маске очков ночного видения.

В табл. 4.1 приведены технические характеристики лазерных излучателей, применяемых в системах прицельной

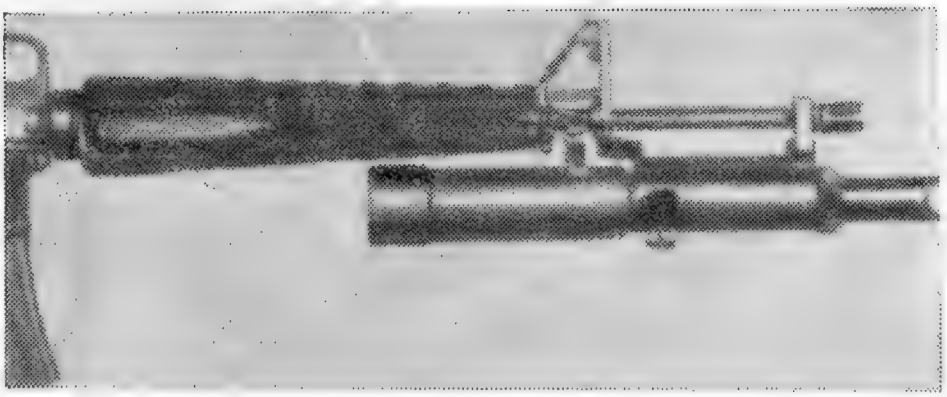


Рис. 53. Лазерскоп на винтовке М16 (под стволом)

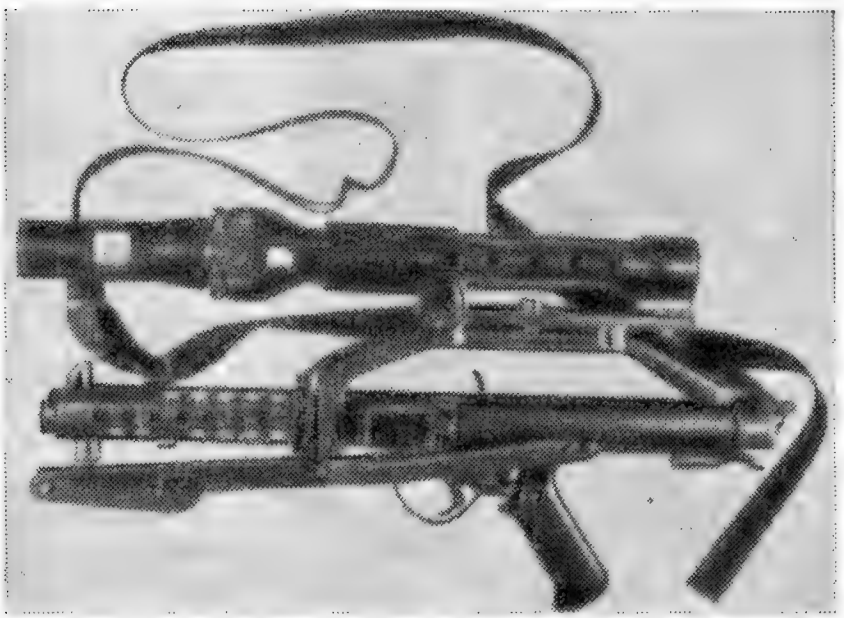


Рис. 54. Автомат «Стерлинг» с лазерным целеуказателем для стрельбы в ночных условиях

Рис. 55. Очки TN 2-1 для ночного наблюдения и наведения на цель пятна лазерного осветителя PSI (под стволом автомата)

стрельбы из оружия ночью с использованием лазерной подсветки (ТТХ очков ночного видения приведены в табл. 3.5), в том числе и газового гелий-неонового лазера, излучающего в красной области спектра с длиной волны 0,63 мкм и применяемого в приборе «Лазерскоп» для ночной стрельбы из винтовки М16 по целям, обнаруженным в пассивные очки ночного видения. Излучение гелий-неонового лазера лежит в видимой области, поэтому он может быть обнаружен противником в обычные оптические приборы.

Из данных табл. 3.5 и 4.1 следует, что гибридные ПНВ являются эффективным средством ведения прицельного огня ночью в подвижных формах боя и могут применяться для целеуказания другим огневым средствам, оснащенным ПНВ. Так как излучатели на арсениде галлия имеют очень узкий луч, их обнаружение противником с помощью ПНВ

Таблица 4.1

Характеристики лазерных излучателей, применяемых для подсветки целей и ведения по ним огня из стрелкового оружия

Марка осветителя и тип лазерного излучателя	Рабочая длина волны, мкм	Мощность излучения, мВт	Безопасная дистанция, м	Диаметр пятна луча, см, на дистанции, м				Габаритные размеры, мм			Масса, г
				50	100	500	1000	длина	ширина	высота	
RT 4A GaAs	0,84—0,87	6—10	20	60—240	120—480	40	80	137	75	89	500
RT 5A GaAs	0,84	6—10	50	4—20	8—40	40—200	80—400	178	75	89	650
NVAI к винтовке M16 GaAs	0,85	—	—	5	10	50	100	160	⌀ 50		170
M931 GaAs	0,85	5	—	Дистанция 20—1000 м				—	—	—	—
«Лазерскоп» к винтовке M16. Гелий-неон	0,632	2	—	Дистанция 5000 м и более с угловой расходимостью 1,2 мрад				420	—	—	765
«Дарт». Гелий-неон	0,632	—	—	—	17	—	—	—	—	—	—
ЛАЗИ II для стрелкового оружия. Гелий-неон	0,632	—	—	—	15	—	—	—	—	—	—
«Ночной воин» к винтовке M16 GaAs	0,85	—	—	5	10	—	—	—	—	—	—

Окончание табл. 4.1

Марка осветителя и тип лазерного излучателя	Рабочая длина волны, мкм	Мощность излучения, мВт	Безопасная дистанция, м	Диаметр пятна луча, см, на дистанции, м				Габаритные размеры, мм			Масса, г
				50	100	500	1000	длина	ширина	высота	
TP100 и IL7 с очками AN/PVS-5	0,85	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
PSI с очками TN2-I	0,85	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TP100 к прицелу «Луна-Трон»	0,85	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
BM8042 с очкамй BM8028	0,85	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

возможно лишь в пределах угла раствора осветителя или в случае прохождения излучения в мутной среде. Это преимущество может способствовать распространению способа активной подсветки и на другие образцы оружия с большей дальностью действия.

Существуют гибридные системы, специально разработанные для ведения стрельбы с осветителями. Так, западногерманский бундесвер имеет на вооружении бинокулярные очки BM8028 массой 1 кг и осветитель (маркер) цели BM8042, луч которого параллелен оси канала ствола винтовки стрелка. Световое пятно на цели можно видеть в очки на расстоянии 500 м. Осветитель BM8042 используется и с монокулярными очками BM8034 фирмы «Филипс», масса которых 750 г. Дальность освещения при этом уменьшается до 100 м, но ее можно увеличить до 250 м при наблюдении в очки с большим усилением.

В авиации используются шлемные очки ночного видения BM8043 массой 1,13 кг, включая крепежные устройства и блок питания. Очки снабжены так называемым губным выключателем, позволяющим включать и выключать встроенный в очки источник света с узким лучом, чтобы читать неосвещенные карты и другие документы в кабине.

Аналогичные очки разработаны в Великобритании для пилотов самолетов AV-8B, «Харриер» и «Торнадо» и заказаны для пилотов вертолетов английских ВВС.

В США, несмотря на большой рынок очков ночного видения, продолжается совершенствование очков бинокулярного типа: применение новых линз объектива с повышенным пропусканием, ограничение воздействия ярких засветок, упрочение маски и отсека для размещения батарей питания очков. Улучшения в линзах объектива и применение усовершенствованной 18-мм трубки II+ обеспечили двукратное увеличение усиления и тем самым повышение на 1/3 дальности действия очков M909.

Для авиации США принята система ночного видения AN/PVS-6 с двумя трубками (см. табл. 3.5). Она может крепиться на козырьках американских, французских и английских шлемов. Оснащенная трубками II или III поколения, эта система получившая наименование ANVIS (Aviator's Night Vision Imaging System), имеет массу 463 г и успешно применяется совместно с установленной в кабине системой «Флир», что обеспечивает возможность круглосуточного видения, в том числе и в условиях ограниченной видимости.

Выполненная фирмой «Бэрд» разработка «Магленз»

представляет собой 2,5× линзу-насадку, позволяющую повысить увеличение штатных очков с одной или двумя трубками, включая очки NVG-1, PVS-5/5A, PVS-7 и ANVIS.

Одним из видов пассивно-активного способа наблюдения ночью и при плохой видимости с применением лазеров является сочетание пассивного прибора наблюдения с лазерным излучателем — осветителем цели, работающим в импульсном режиме. В зарубежной литературе этот способ называется томоскопией.

Принцип действия аппаратуры ночной разведки целей показан на рис. 56. Цель 7 освещается короткими импуль-

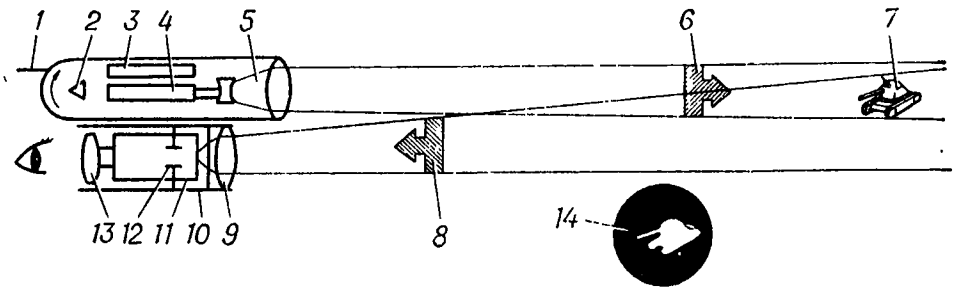


Рис. 56. Структурная схема активно-пассивного прибора ночного наблюдения в условиях ограниченной видимости с измерением дальности обнаруженной цели:

1 — лазерный излучатель; *2* — модулятор добротности; *3* — лампа накачки; *4* — активное тело; *5* — телескоп; *6* — лазерный импульс подсветки; *7* — цель; *8* — лазерный импульс, отраженный от цели; *9* — объектив; *10* — электронно-оптический прибор наблюдения (пассивный); *11* — ЭОП с УЯИ I или II поколения; *12* — электронный затвор; *13* — окуляр; *14* — изображение цели в окуляре

сами лазера с длительностью, меньшей времени прохождения импульса подсветки до цели и обратно. Если в качестве приемника лазерного импульса, отраженного от цели, используется ПНВ с ВОП, снабженным электронным затвором *12*, запирающим прибор на время прохождения импульса подсветки до цели и обратно, то наблюдатель увидит изображение цели и освещенный лазером участок пространства, определяемый по фронту углом расходимости лазерного луча, а по глубине — стробом (по терминологии, принятой в радиолокации). Так как электронный затвор открывает прибор только тогда, когда отраженный от цели лазерный импульс достигнет объектива, то в прибор не попадает паразитная засветка от взвешенных в атмосфере частиц пыли, влаги, дыма, в результате чего дальность наблюдения значительно возрастает по сравнению со способом непрерывной подсветки — при наблюде-

нии в створе с прожекторным лучом. Аналогичным примером этого эффекта может служить система управления лучом зенитного прожектора, где прибор наблюдения и пост управления прожектором разнесены на значительное расстояние. В томоскопии не требуется разнесение по базе прибора наблюдения и излучателя. Эти приборы могут составлять единое целое.

В томоскопии, как и в радиолокации, используется стробирование, определяемое длительностью импульса подсветки, а также движение строба по дальности, осуществляемое способом временной задержки, что позволяет измерять дальность до цели с точностью, достаточной для расчета исходных данных стрельбы по разведанной цели.

Преимущества этого способа заключаются в возможности наблюдения не только в условиях пониженной видимости в атмосфере, но и при использовании противником средств искусственной маскировки — дымов, аэрозольных образований и даже масксетей, если они установлены на расстоянии, превышающем длительность строба.

В реальной аппаратуре в качестве источника подсветки используется лазер, работающий в режиме коротких импульсов с модулированной добротностью на длине волны, отвечающей спектральной чувствительности фотокатода ЭОП прибора ночного наблюдения. Сам ЭОП должен иметь на входе электронный затвор, запирающий прибор с момента посылки зондирующего импульса и открывающий его при возвращении отраженного импульса по истечении времени задержки, установленной блоком задержки. Процесс наблюдения в прибор заключается во вращении рукоятки прибора задержки, в результате чего происходит движение строба вперед для обнаружения цели. Таким образом можно просмотреть всю дистанцию в пределах возможностей прибора, определяемых мощностью лазерного излучателя и состоянием атмосферы. При сильном снегопаде или при постановке противником очень плотной дымовой завесы дальность наблюдения в прибор такого типа сокращается. Отсчет дальности ведется по шкале механизма задержки.

Впервые такая аппаратура была описана еще в 1968 г. в американском журнале «Электроникс». Интересно, что в качестве излучателя применялся лазер на арсениде галлия, используемый в настоящее время в гибридных пассивно-активных приборах наблюдения и стрельбы в ночных условиях. Сообщалось, что аппаратура такого вида позволяет вести разведку целей в туман, дождь и при ис-

искусственном задымлении на расстоянии 90 м. Конечно, такая дальность действия при массе прибора 6,8 кг явно недостаточна для решения тактических задач.

С появлением пассивных приборов ночного видения II поколения на МКП фирмой RCA была создана разведывательная система с определением дальности, где в качестве излучателя использовался лазер на стекле с неодимом с длиной волны 1,06 мкм. Дальность действия прибора в активном режиме составляла 1200 м. Аналогичный прибор был разработан в США фирмой «Итек», в котором обнаружение цели производилось с помощью теплопеленгатора, а ее идентификация и определение дальности — наблюдением в ПНВ AN/VAS-1 с лазерным дальномером.

Другой прибор NPI-200, разработанный фирмой PLS для армии, обеспечивает разведку целей в пределах 250—2500 м с точностью ±7,5 м. Его лазерный дальномер на АИГ работает в режиме подсветки и дальнометрирования с полем зрения 2—4 град, близким по величине к полю зрения прибора наблюдения. Конструктивно прибор выполнен в виде четырех блоков, связанных между собой кабельной проводкой (герметизированный электронно-оптический блок с лазерным осветителем, автономная система охлаждения и прибор наблюдения).

Интересно, что еще в 70-е годы исследовательские организации бундесвера рассматривали перспективы создания системы наблюдения ночью для танка «Леопард 2» с использованием импульсной подсветки ИК-прожектором (лазером) тактических целей, наблюдаемых в ПНВ, а также теплопеленгатора, определяющего характер цели. Такая система могла быть осуществлена в сравнительно малых габаритных размерах, однако с принятием решения об оснащении БТТ тепловизионными приборами изыскания в этой области прекратились.

Говоря о демаскирующих свойствах активных приборов, следует отметить, что опасность применения ИК-прожекторов несколько преувеличена: ИК-прожектор прицела стрелкового оружия диаметром 100—130 мм не так просто поразить выстрелом из винтовки даже в дневных условиях, не говоря уже о ночи. Если днем можно хотя бы приблизительно определить дальность до цели «на глазок» или по дальномерной шкале бинокля, то ночью такая возможность отсутствует даже при наличии ПНВ. В зарубежной литературе нет сведений о наличии дальномеров для разведки активных ИК-средств. В Советской Армии эта задача была решена еще в 50-е годы, когда были раз-

работаны и приняты на вооружение электронно-оптические насадки к стереоскопическому дальномеру ДСН-1 и разведывательному теодолиту РТ-2, обеспечивающие засечку ИК-излучателей и определение дальности до них независимо от характера излучения с точностью, удовлетворяющей условиям их поражения прицельным огнем.

В настоящее время трудно найти разведывательный прибор без пассивного ПНВ и лазерного дальномера в системе управления огнем (СУО) артиллерии и танков. Типичной в этом отношении является СУО артиллерийской батареи бельгийской армии LRS4 МкII. Эта система имеет дневной и ночной (пассивный) каналы наблюдения, лазерный дальномер на АИГ с длиной волны 1,06 мкм и цифровой баллистический вычислитель с программами для боеприпасов двух видов, а также управляемую компьютером систему определения баллистической точки прицеливания для мгновенного открытия огня. Прицельные шкалы служат как для дневной, так и для ночной стрельбы. При увеличения 3,8× и поле зрения ночного канала 8,5 град система обеспечивает эффективную стрельбу на дальности от 200 до 5000 м с точностью ±10 м. Предел измерения дальности дальномером 200—5000 м.

5. ТЕПЛОВИЗИОННЫЕ ПРИБОРЫ

5.1. Общие положения

В предшествующих разделах описаны приборы, принцип действия которых основан на использовании физических процессов усиления слабого рассеянного света, излучаемого небесным сводом, звездами и Луной. Этот способ, казалось бы успешно решающий проблему ночного видения, вступил в соперничество с новым направлением техники ночного видения — тепловидением.

На заре ИК-техники, когда господствовали активные ПНВ с ИК-прожекторами, казалось, что с разработкой пассивных ПНВ проблема ночного видения будет решена окончательно. Но уже первые опыты боевого применения пассивных ПНВ показали, что эти новые приборы не сохраняют дальность наблюдения в плохую погоду и, обладая высокой чувствительностью, теряют видимость при попадании в поле зрения ярких источников света: факелов осветительных и сигнальных ракет, вспышек выстрелов, прожекторов и фар видимого и ИК-излучения. Этот недостаток особенно присущ пассивным ПНВ I поколения с многокамерными УЯИ, в которых засветка помимо создания ореола приводила к «сворачиванию» изображения.

В ПНВ II поколения с УЯИ на МКП засветки носят локальный характер и не приводят, как правило, к потере видимости в прибор, но все же ухудшают видимость. В дальнейшем, правда, удалось несколько снизить влияние засветки на качество изображения в ПНВ установкой автоматических ограничителей яркости непосредственно в ЭОП путем изменения высокого напряжения на аноде трубки.

Существенным недостатком пассивных ПНВ является невозможность их применения в боевых действиях в закрытых помещениях, глубоких траншеях, подземных коммуникациях городов, ущельях, где уровень освещенности

крайне недостаточен или отсутствует вообще. Правда, как это показано в предыдущем разделе, в таких условиях можно применять лазерную подсветку, но это нарушает скрытность, так необходимую в бою.

Поэтому вполне понятен тот интерес, какой был проявлен военными к другому, тоже пассивному способу наблюдения целей не только ночью, но и днем в условиях атмосферных помех и применения противником активных и пассивных помех и средств маскировки — тепловидению.

Если диапазон работы ПНВ охватывает лишь небольшой участок спектра электромагнитного излучения — от видимого до ближнего ИК, то тепловидение занимает значительный диапазон в средней и дальней областях ИК-спектра с длинами волн 3—5 и 8—14 мкм (рис. 4), обладающий рядом особенностей, благоприятствующих созданию новых приборов и систем видения — тепловизионных.

Пассивные ПНВ работают на принципе многократного усиления слабого света, испускаемого звездами как в видимой, так и в ближней ИК-области до длины волны 0,9 мкм, что достигнуто в последние годы созданием нового фотокатода на арсениде галлия в III поколении ПНВ. Принцип же тепловидения использует совершенно иной источник информации, недоступный невооруженному глазу человека, — собственное излучение нагретых тел, не зависящее от уровня освещенности и времени суток, — путем сбора этой информации и ее преобразования в видимое изображение, доступное глазу. А так как излучение тепловой энергии присуще всем без исключения телам на земле и в космосе, температура которых отличается от абсолютного нуля по шкале Кельвина (—273° С), то с помощью тепловизионных приборов можно наблюдать все тела и предметы в спектре их собственного излучения в области длин волн, соответствующих рабочему диапазону этих приборов.

Идеальным теплоизлучающим телом в физике называют черное тело, полностью поглощающее падающее на него излучение независимо от спектра излучения. Характеристикой абсолютно черного тела является его спектральная плотность излучения, измеряемая в Вт ($см^2 \cdot мкм$). Реальные тела, существующие в природе и изготовленные человеком, излучают энергию с коэффициентом меньше единицы, отчего получили название серых в отличие от черного тела, коэффициент излучения которого принят за единицу.

Величина энергии, излучаемой любым телом, связана с температурой этого тела зависимостью, установленной законом Стефана—Больцмана, согласно которому суммарное излучение идеального тела

$$R=\sigma(T_1^4 - T_2^4),$$

где $\sigma=5{,}735\cdot10^{-12}$ Вт · см$^{-2}$ · град$^{-4}$, откуда следует, что энергия, излучаемая телом, пропорциональна четвертой степени его температуры!

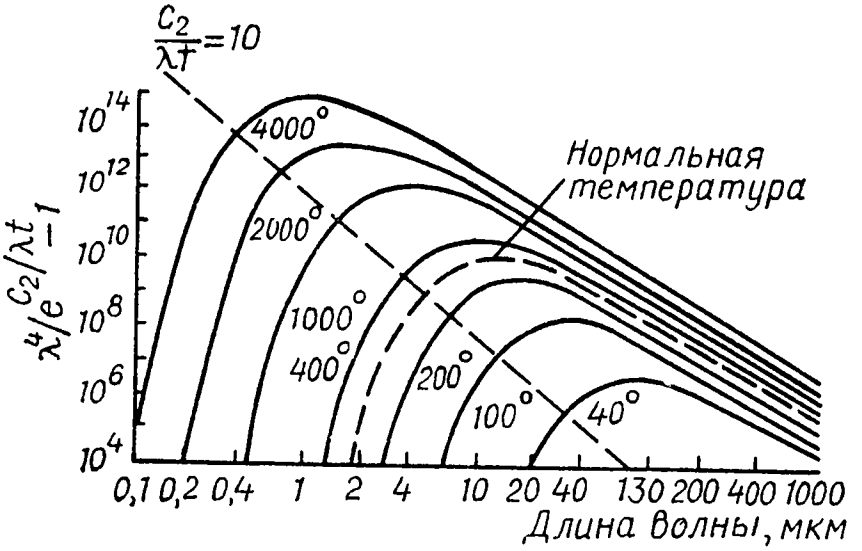


Рис. 57. Графическое представление изотерм, вычисленных по формуле Планка для нагретых тел (пунктирная кривая относится к температуре излучения нагретых тел с максимумом в области 8—14 мкм)

На рис. 57 представлено семейство изотерм, вычисленных по формуле Планка, по которым можно легко определить спектральный диапазон, излучаемый телом. Так, оценивая выбранные для построения тепловизионной аппаратуры длины волн 3—5 и 8—14 мкм, по изотермам Планка видно, что эти диапазоны отвечают максимумам излучения тел, температура которых представляет интерес для разведки целей: слабонагретых (живые цели и технические средства) с температурой около 300 К и сильнонагретых — около 1000 К.

Диапазон действия тепловизионной аппаратуры по спектральному поглощению атмосферой излучения объектов наблюдения является более благоприятным, чем диапазон ПНВ, где пропускание атмосферы составляет около 60%, в результате чего дальность наблюдения в ПНВ в

тумане резко сокращается, не говоря уже о наблюдении в дождь или в снегопад. Аналогичное действие на видимость в ПНВ оказывает задымление, так как размеры частиц дыма значительно превосходят длину волны фотокатодов ЭОП ПНВ. В этом отношении тепловизионные приборы менее уязвимы, чем и определяется их большая дальность действия, так как частицы тумана и дымов меньше рабочей длины волны тепловизионных приборов.

На рис. 4, на котором приведены графики величины пропускания от длины волны излучения, преимущества тепловизионного диапазона очевидны, что объясняется значительно меньшим абсорбирующим действием молекул H_2O, CO и CO_2, содержащихся в нижних слоях атмосферы, а также озона O_3 — в верхних слоях. Действительно, если учесть, что средний размер капель влаги 2—3 и даже 7 мкм по сравнению с длиной волны в средней части рабочего диапазона ТВП 10,6 мкм, явление поглощения излучения представляется вполне закономерным. Что же касается сокращения дальности действия тепловизионной аппаратуры в случае применения специальных аэрозольных образований, то от их действия не застрахованы и РЛС миллиметрового диапазона.

Говоря о тепловидении как о средстве наблюдения объекта ночью и днем, а также в ухудшенных условиях видимости, вызванных погодными условиями или применением противником средств маскировки и пассивных способов защиты от наблюдения, в сравнении с пассивными приборами ночного видения, можно отметить следующие положительные качества тепловизионной аппаратуры по сравнению с пассивными приборами ночного видения:

полная независимость от освещенности как днем, так и ночью;

абсолютно пассивный принцип работы, исключающий возможность обнаружения аппаратуры по признакам демаскировки, а также путем наблюдения в ПНВ или с помощью РЛС;

значительная дальность действия, обеспечивающая наблюдение тактических целей по их собственному излучению в условиях маскировки в редком кустарнике или масксетями, а также в туман и при использовании обычных средств маскировки;

безотказная работа в условиях слепящих засветок интенсивными источниками света, включая осветительные средства всех видов;

возможность обнаружения следов транспортных и боевых машин на местности;

возможность определения тактических ситуаций (засад).

Еще задолго до современного тепловидения, в период второй мировой войны, физический принцип регистрации излучения тел, температура которых отличается от абсолютного нуля, был применен в теплопеленгационной аппаратуре, предназначенной для обнаружения теплоизлучающих целей: самолетов, надводных кораблей и танков. С помощью теплопеленгаторов береговые наблюдательные посты германских морских сил обнаруживали корабли держав антигитлеровской коалиции и давали их приблизительные координаты авиации и средствам перехвата. Однако, несмотря на эффективность такого способа разведки, данные, полученные с помощью теплопеленгационной аппаратуры, содержали небольшой объем информации. Тем не менее теплопеленгационный принцип явился началом создания аппаратуры визуализации теплового изображения и был реализован четверть века спустя.

Основным элементом теплопеленгационной аппаратуры являлся чувствительный приемник, регистрирующий тепловой контраст между целью и фоном, величина которого в лучшем случае могла составлять 0,01, в худшем — 0,03 и даже меньше. Эта задача была успешно решена использованием ряда чувствительных приемников, известных физикам еще в прошлом веке. Аналогичная задача, но значительно сложнее, встала перед создателями тепловизионной аппаратуры, которая предназначалась для визуализации теплового изображения цели.

Все виды приемников для регистрации теплового излучения можно разделить на два класса: приемники теплового излучения и приемники фотонов. Детекторы ИК-излучения используют материалы, свойства которых так или иначе обнаруживают температурную зависимость. Поглощение приемником падающего излучения повышает температуру чувствительного материала приемника, изменяя свойство, которое используется для обнаружения излучения. В качестве приемников излучения применяют термоэлемент, термистор, пироэлектрический приемник и болометр.

Другой класс приемников использует электронные переходы, вызванные фотонами, что также приводит к изменению свойств приемника: проводимости — в случае фоторезистора, электрического поля — в случае фотогальвани-

ческого приемника. При этом постоянная времени приемников теплового излучения очень велика — около десятка миллисекунд, в то время как фотоприемники — фоторезисторы и фотодиоды — обладают инерционностью менее 1 мкс. Так как визуализация тепловой картины должна производиться в реальном масштабе времени, то наиболее пригодны для использования фотоприемники — фоторезисторы и фотодиоды.

Как известно, чувствительность фотоприемника определяется не только его обнаружительной способностью, но и внутренними шумами теплового происхождения и шумом, создаваемым фотонами, падающими на приемник. Чтобы обеспечить высокую чувствительность приемника, нужно его охладить с помощью различных систем охлаждения.

В табл. 5.1 указаны материалы, используемые в качестве детекторов теплового излучения.

Таблица 5.1

Детекторы теплового излучения

Тип соединеиия	Материал детекторного элемента	Тип приемника	Спектральный диапазон, мкм	Рабочая температура, К
Примесный	Германий — ртуть (Ge : Hg)	Фоторезистор	3—14	30
Германиевый	Германий — золото (Ge : Au)	»	1—9	77
Примесный	Кремний — индий (Si : In)	»	1,3—9	45
Бинарный сплав	Индий — сурьма (In : Sb)	»	0,5—6,5	195
		»	0,5—5,9	77
		Фотодиод	0,5—5,6	77
Тройное соединение	Ртуть — кадмий — теллур (Hg-Cd-Te)	»	0,6—16	77
		Фоторезистор	0,5—5	195

Из таблицы видно, что применение таких фотодетекторов, как германий, легированный ртутью, и кремний—индий, вполне приемлемых по спектральному диапазону, ограничено необходимостью их глубокого охлаждения, что представляет собой техническую проблему. Поэтому такие фотоприемники, как бинарный сплав InSb и тройное соединение Hg-Cd-Te — теллурид кадмия и ртути (сокращен-

но КРТ), предпочтительнее для установки в полевой тепловизионной аппаратуре, работающей в диапазоне 3—5 мкм (InSb и КРТ) при температуре 165 К и в диапазоне 8—14 мкм, где, как правило, используется приемник на КРТ при температуре 77 К, что обеспечивается современной техникой охлаждения.

5.2. Построение тепловизионной аппаратуры

Описанный выше принцип регистрации нагретых объектов в спектре их собственного излучения показал преимущества нового направления в ИК-технике, получившего широкое распространение не только в военной технике, но и в медицине, геологии, охране природы, машиностроении.

Законы излучения нагретых тел, исследования, связанные с прохождением длинноволнового излучения через атмосферу, и создание материалов для фотоприемников с целью надежной регистрации излучения позволили уже в 60-е годы перейти к разработке и промышленному изготовлению тепловизионной аппаратуры, обеспечивающей возможность наблюдения объектов в реальном масштабе времени. При этом аппаратура военного назначения должна была обладать разрешением, обеспечивающим решение задач поиска целей и ее составляющих: детектирование (обнаружение) — опознавание — идентификация.

В теплопеленгационной аппаратуре поиск цели производился сканированием путем перемещения сферического зеркала с расположенным в его фокусе теплочувствительным приемником, сигналы которого либо преобразовывались для наблюдения в видимый сигнал, либо передавались в счетно-решающий прибор для определения координат цели. В тепловизоре же изображение объекта в тепловом контрасте собственного излучения с излучением фона воспроизводится с четкостью, близкой к тепловизионному стандарту, сканированием картины и расположенных на ее фоне объектов с помощью фоточувствительного элемента или решетки из этих элементов весьма сложным путем — применением оптико-механических схем сканирования и электронного преобразования полученных сигналов в видимое изображение.

Для того чтобы видеть объект в ИК-лучах, будь то отраженное от него излучение в ближней области ИК-спектра или тепловое излучение самого предмета в средней и дальней ИК-областях, необходимо его преобразовать. Процесс преобразования и усиления света известен. Процесс

преобразования теплового изображения — тепловидение — является сложным. Регистрация тепловой картины осуществляется фотоприемным устройством, чувствительным в диапазоне 3—5 или 8—14 мкм, выбранном для решения задачи поиска. Преобразование может осуществляться как бесканерными преобразователями, так и с помощью сканирующих систем.

Бесканерное тепловидение путем прямого преобразования спроецированной на фотоприемник картины в видимое изображение пока еще не вышло из стадии лабораторных образцов и представлено двумя образцами аппаратуры: эвапорографом и термооптическим преобразователем. В эвапорографе спроецированное на пластину с масляной пленкой тепловое изображение вызывает испарение масла в соответствии с интенсивностью теплового потока деталей картины, в результате чего образуется видимое изображение, рассматриваемое в отраженном свете.

Недостаток эвапорографа — длительный процесс преобразования и визуализации, определяемый временем испарения масляной пленки, поэтому его можно использовать только для наблюдения неподвижных предметов, и то в лабораторных условиях.

Другой вид прямого преобразования ИК-изображения в видимое состоит в использовании явления смещения края поглощения аморфного селена в зависимости от температуры, что было реализовано в термооптическом преобразователе. Однако низкая температурная чувствительность как эвапорографа, так и термооптического преобразователя и большая постоянная времени не позволили реализовать их в аппартуре для решения задач поиска.

В настоящее время наиболее рациональным способом видения нагретых тел является способ, основанный на сканировании местности и расположенных на ней объектов теплочувствительным приемником с помощью последовательного и многократно повторяющегося осмотра их фотоприемником для образования кадра с частотой, обеспечивающей наблюдение картины в реальном масштабе времени.

На рис. 58 приведена типовая структурная схема тепловизионной аппаратуры любого назначения, на которой изображены все элементы, за исключением блока питания, поскольку большая часть тепловизионной аппаратуры военного назначения использует для своей работы бортовое питание носителей. Портативные приборы, используемые в

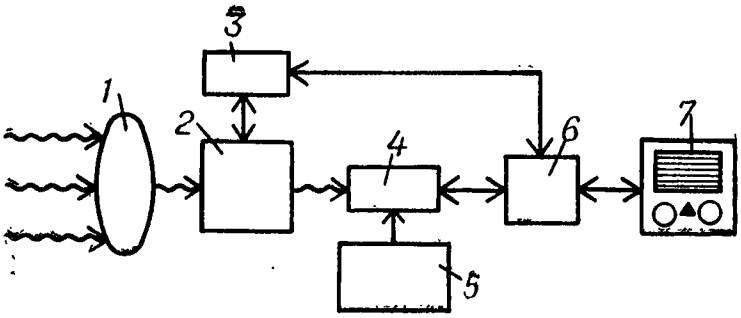


Рис. 58. Структурная схема тепловизора:
1 — объектив; *2* — сканер; *3* — сервопривод сканера; *4* — фотоприемник; *5* — система охлаждения; *6* — блок электронной памяти и обработки сигнала; *7* — видеоконтрольное устройство и блок управления прибором

качестве наблюдательных в СВ, питаются, как и ПНВ, от различных химических источников тока: аккумуляторов и батарей гальванических элементов с большой удельной энергией.

На схеме волнистыми линиями изображен поток тепловой радиации от объекта наблюдения до фотоприемника, а прямыми — электрические связи между блоками аппаратуры.

На входе тепловизионного прибора помимо защитных окон установлен объектив *1* (рис. 58), представляющий собой линзу или несколько линз, изготовленных из материалов с большим коэффициентом пропускания ИК-излучения в области 3—5 и 8—14 мкм — германия, кремния или оптической керамики. Основные параметры объектива — фокусное расстояние и относительное отверстие — определяются исходя из дальности действия и угла поля обзора ТВП. Следующий весьма важный элемент ТВП — сканирующее устройство *2* — состоит из колеблющихся или вращающихся оптических зеркал, линз и призм, материалы которых должны иметь высокий коэффициент отражения (зеркала) или пропускания (линзы и призмы). Сервопривод *3* сканера предназначен для приведения в колебательное или вращательное движение зеркал, линз и призм с высокой стабильностью скорости вращения с целью обеспечения развертки изображения без искажений. Фотоприемник *4*, являющийся последним этапом на пути ИК-излучения, представляет собой линейку из n или матрицу из $n \times s$ элементов, размер которых выбирается в соответствии с заданной дальностью действия, зависящей от их линейного разрешения и чувствительности. Конфигурация

фотоприемника вместе со способом сканирования определяет тип и поколение ТВП.

Следующий узел ТВП — система охлаждения *5* — выбирается в зависимости от типа фотоприемника, т. е. его спектрального диапазона. Для фотоприемника на сурьмянистом индии, работающего в диапазоне 3—5 мкм, где температура охлаждения не ниже 195 К, можно использовать термоэлектрический холодильник, простой и удобный в эксплуатации в широком температурном интервале, работающий на известном в физике эффекте Пельтье. Для фотоприемника на тройном соединении — теллуриде кадмия и ртути, — где рабочая температура 77 К, применяются два способа охлаждения: способ Джоуля—Томсона, основанный на эффекте охлаждения, вызванном резким изменением давления газа в вакууме, и использование компрессионного холодильного агрегата на термодинамическом цикле Стирлинга.

Способ Джоуля—Томсона используется в переносных ТВП с ограниченными ресурсами работы источников питания — наблюдательных приборах и ТВП в ракетных системах наведения ПТУР. Холодильные агрегаты по циклу Стирлинга применяются в ТВП на объектах БТТ, боевых вертолетах и других системах оружия, имеющих бортовое питание.

Блок электронной памяти и обработки сигнала *6*, в который входят предусилители и усилители сигналов, поступающих от детекторов, производит усиление и обработку сигналов изображения синхронно со сканером, с которым этот блок имеет обратную связь, и направляет их на управляющий элемент трубки — видеоконтрольное устройство (ВКУ), где образуется видимое глазом изображение объекта или картины. Блок ВКУ *7* обеспечивает наблюдение практически в реальном масштабе времени.

Ранее, 5—10 лет назад, тепловизионные приборы относили к III поколению приборов ночного видения, считая активные ПНВ с ИК-прожекторами ПНВ I поколения, пассивные же ПНВ с усилителями яркости изображения — каскадные ЭОП — приборами II поколения. С разработкой ЭОП с усилителями на МКП произошла перестановка, в результате которой активные ПНВ, имеющие не УЯИ, а ИК-прожекторы, стали именовать ПНВ нулевого поколения, ПНВ с каскадными УЯИ получили название ПНВ I поколения, ПНВ с усилителями на МКП — ПНВ II поколения, а ПНВ с УЯИ на МКП, но с входным фотокатодом на арсениде галлия — ПНВ III поколения. Что

касается тепловизионной аппаратуры, то к тепловизорам I поколения д-р Манфред Хартль относит приборы, использующие линейные или матричные фотоприемники, к тепловизионным приборам II поколения — приборы, использующие в качестве фотоприемника Спрайт-детекторы, в которых задержка и суммирование принимаемых сигналов происходят внутри самого детектора, что исключает необходимость электронных схем, существующих в линейных системах *. Новый приемник был назван Спрайт-приемником (SPRITE — Signal Processing in the Element) или ТЕД-детектором (по имени его изобретателя Томаса Эллиота).

5.3. Модульные тепловизионные системы

5.3.1. Достоинства и недостатки ТВП

Толчком к развитию техники тепловидения за рубежом послужила концепция НАТО, потребовавшая создания пассивных систем наблюдения, действующих в условиях плохой видимости днем и ночью, с целью достижения тактического превосходства над вероятным противником, что в значительной степени можно реализовать созданием аппаратуры наблюдения, основанной на регистрации теплового контраста между целью и фоном.

Работы, проведенные рядом фирм США по созданию тепловизионной аппаратуры, показали, что эти приборы обладают существенными преимуществами по сравнению с пассивными ПНВ и могут быть использованы для решения тактических задач на суше, море и в воздухе.

Однако разработка, производство и оснащение армии тепловизионной аппаратурой (помимо трудностей, связанных с решением технических вопросов — повышение чувствительности ТПВ аппаратуры) осложнялись из-за ее высокой стоимости. Американская фирма TI пришла к выводу, что главная причина высокой стоимости в многообразии конструкций, так как при заказе новой системы большинство узлов, предназначенных для аналогичного применения, каждый раз конструировалось заново, что препятствовало организации серийного производства и внедрению прогрессивной технологии.

---

* Wehrtechnik. 1986. No 4. S. 50.

В 1972 г. выводы фирмы были доложены правительству США, которое поручило разработку предложений вновь созданной лаборатории приборов ночного видения армии США, ответственной за разработку ПНВ для сухопутных войск. Ее деятельность направлена на то, чтобы помимо создания новых приборов, обеспечивающих возможность наблюдения в ухудшенных условиях видимости (дымовая завеса, туман) при любой погоде днем и ночью, снизить их стоимость путем всемерной стандартизации основных узлов приборов. Лаборатория составила соответствующие рекомендации и выдала их ведущим фирмам США, в том числе и фирме TI.

На разработку и унификацию приборов были установлены и введены нормали и разработаны стандарты на отдельные узлы тепловизионной аппаратуры для фирм США, названные «Общими модулями» (Common Modules — CM). Вскоре концепция «Общих модулей» была принята ФРГ и стала таким образом интернациональной модульной системой. Франция и Великобритания не присоединились к системе «Общих модулей» и создали национальные модульные системы.

5.3.2. Система «Общих модулей» США и ФРГ

Как отмечалось выше, поколение и тип ТВП определяются конфигурацией фотоприемника и способом сканирования. Существуют три способа сканирования: **параллельное, последовательное, последовательно-параллельное.**

В системе «Общих модулей» (CM) в качестве основы системы избран **параллельный способ сканирования** линейкой детекторов из теллурида кадмия и ртути—КРТ, — состоящей из 60, 120 и 180 элементов в зависимости от вооружения, которому придается ТВП. Так, наблюдательные приборы имеют линейку из 60 элементов КРТ, тепловизионные прицелы для образцов БТТ — из 120 элементов, а ТВП к самолетам и вертолетам — из 180 элементов.

На рис. 59 показана структурная схема тепловизионного прицела для танка, выполненного по модульной системе CM с параллельным сканированием и фотоприемником в виде линейки из 120 элементов КРТ в дьюаре и с криогенной машиной по циклу Стирлинга, обеспечивающей охлаждение линейки детекторов до 77 К.

Тепловое излучение *2* (рис. 59) от цели, наблюдаемой в прибор, через головное зеркало *3* перископического прицела поступает в афокальный линзовый объектив, за кото-

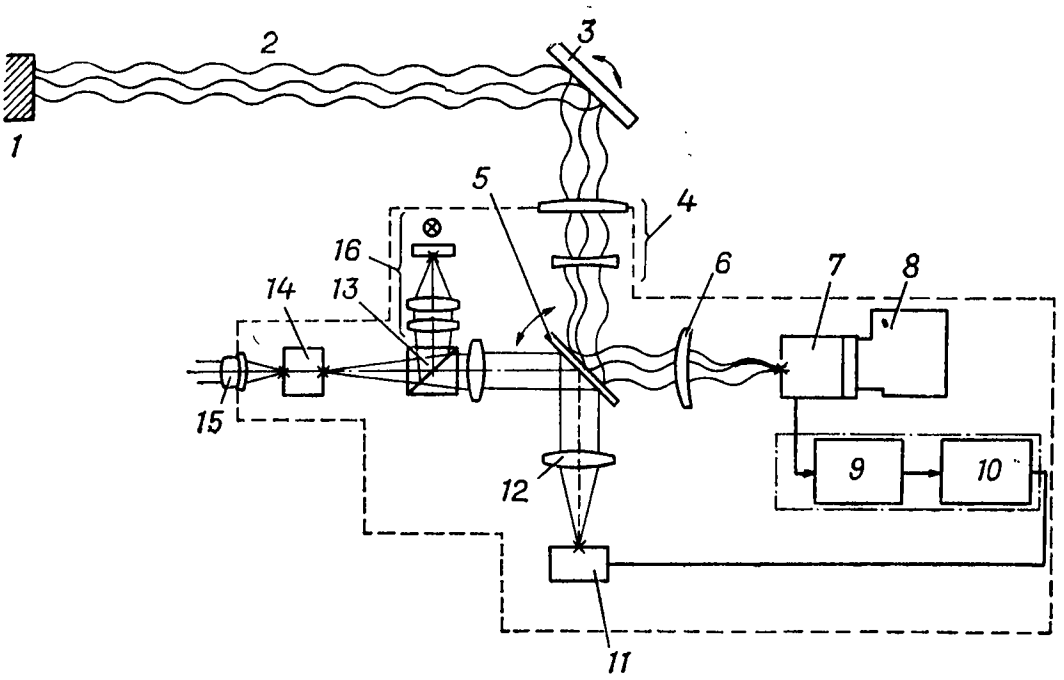


Рис. 59. Структурная схема тепловизионного прибора наблюдения — прицела для танка на основе «Общих модулей» (СМ):

1 — объект наблюдения; *2* — тепловое излучение; *3* — головное зеркало; *4* — входная оптика переменного увеличения; *5* — двузеркальный сканер; *6* — объектив; *7* — детектор в дьюаре; *8* — система охлаждения; *9* — предусилитель; *10* — усилитель; *11* — линейка светодиодов; *12* — коллиматор; *13* — расщепитель; *14* — усилитель яркости изображения; *15* — окуляр; *16* — узел сетки

рым может быть установлен блок переключающихся линз для обеспечения большего увеличения (с уменьшением поля зрения) и, в конечном счете, для опознавания объекта. Поток излучения после прохождения объектива попадает в модуль сканирования, представляющий собой двустороннее колеблющееся с определенной частотой зеркало, развертывающее изображение в поле зрения прибора в одну плоскость, после чего изображение в ИК-лучах фокусируется последним компонентом объектива на линейку элементов фотоприемника, расположенную в дьюаре в испарителе холодильной машины. Линейка фотоприемника, находясь в фокальной плоскости объектива, принимает излучение, отраженное качающимся зеркалом, так же непрерывно, как это делает зеркало по отношению к изображению на местности. В результате электрические сигналы, которые генерирует детектор в полном соответствии с излучением картины в ИК-лучах, поступают сначала в предусилитель *9*, а затем в усилитель *10*, где они обрабатываются для получения сигналов, управляющих системой воспроизведения изображения.

Система обработки сигналов, поступающих от каждого детекторного элемента, построена таким образом, что обработке подвергается каждый детектор, в результате чего пропуски в воспроизведении тепловой картины при ее развертке сканером и обработке отсутствуют. Усиленные сигналы затем попадают на эмиттерную решетку светодиодов из арсенида галлия, которые под действием сигналов, поступивших от детекторной решетки и обработанных усилителями, испускают видимый свет, интенсивность которого в отдельных участках в точности соответствует распределению интенсивности изображения в ИК-лучах. Изображение, полученное на светодиодной линейке, проецируется коллиматором (уже в видимой области) на обратную сторону зеркала, где развертывается в кадр, который проецируется на фотокатод усилителя яркости изображения, как это имеет место в ПНВ, в результате чего усиленное изображение рассматривается в окуляр прибора.

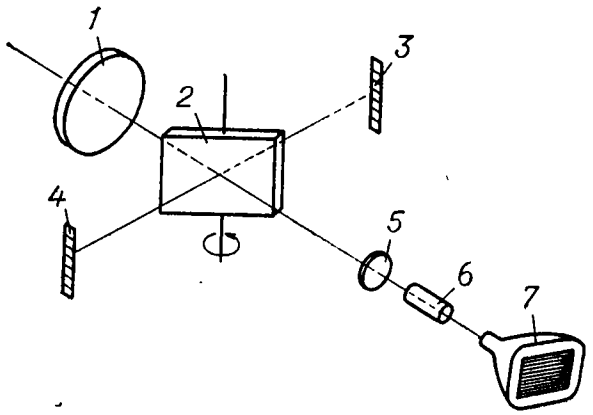


Рис. 60. Схема визуализации тепловизионного изображения на ЭЛТ ВКУ:
1 — ИК-объектив; *2* — двузеркальный сканер; *3* — линейка детекторов; *4* — линейка светодиодов; *5* — проекционный объектив; *6* — видикон; *7* — ЭЛТ

Другой вариант системы визуализации изображения показан на рис. 60, где изображение на линейке светодиодов через обратную сторону качающегося зеркала проецируется с помощью объектива на видикон, а затем уже на электронно-лучевую трубку ВКУ. Такое преобразование с выходом на ЭЛТ используется обычно в тепловизионных прицелах, установленных на подвижных носителях — танке, БМП и БРМ, где изображение воспроизводится на рабочих местах экипажа.

Все узлы описанной выше модульной системы ТВП прибора стандартизованы, что позволило создать ряд тепловизионных приборов для СВ, а также для авиации — вертолетов и самолетов, действующих на небольшой высоте.

В Соединенных Штатах к числу тепловизионных приборов, созданных на основе системы «Общих модулей», относятся наблюдательный прибор AN/TAS-2, прицел к ПУ ПТУР TOW AN/TAS-4, который стал системой ночного видения в лазерном целеуказателе GLLD, а также прицел AN/TAS-5 в ПУ ПТУР «Дракон». ТВП AN/TAS-6 (рис. 61) используется в лазерной разведывательной сис-

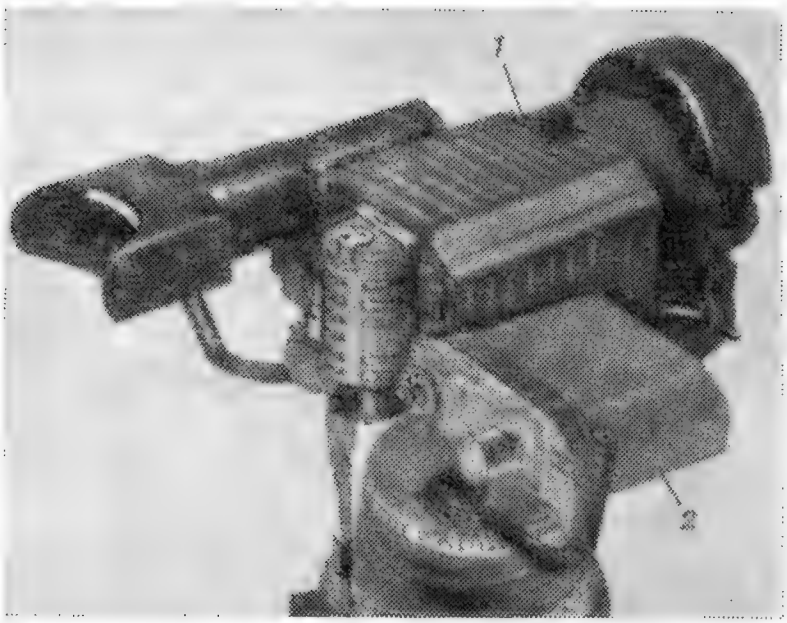


Рис. 61. Тепловизионный разведывательный прибор AN/TAS-6 с лазерным дальномером AN/GVS-5:
1 — тепловизионный прибор; *2* — лазерный дальномер

теме NORLD, где на выходе тепловизора — светодиодном экране с усилителем яркости изображения происходит преобразование красного излучения экрана в зеленый цвет люминофора ЭОП, что позволяет обеспечить стереоскопическое видение.

Однако наибольшие усилия были предприняты в оснащении тепловизонными приборами наблюдения и стрельбы объектов бронетанковой техники, в первую очередь танков. Так, ТВП-прицел танка М60 выполнен в виде перископа, причем изображение, получаемое в прицеле, с

помощью световода внутри танка передается не только водителю танка и наводчику, но и командиру. «Общие модули», являющиеся основой тепловизионной техники в США, привели к созданию тепловизоров для следующих образцов вооружения в СВ и авиации:

прицелов танков М60А3 и М1 — «Абрамс»;

прицелов ПТУР;

прицелов к истребителю танков и самоходному ЗРК «Чапарэл»;

прицела к БМП;

приборов наблюдения для боевых вертолетов и самолетов.

Общая потребность США в тепловизионной аппаратуре для различных видов вооружения и боевой техники составляла, по данным 1982 г., 45 000 единиц, а в ФРГ, где оснащение БТТ тепловизорами займет десятилетие с 1980 по 1990 г., потребуется изготовить 8000 приборов на основе «Общих модулей» только для объектов БТТ.

На основании соглашения, заключенного между правительствами США и ФРГ в 1978 г., Западная Германия получила доступ к документации «Общих модулей» и право на производство промышленными предприятиями тепловизионной аппаратуры, включая продажу тепловизоров другим странам. В соответствии с этим соглашением ведущие фирмы ФРГ — «Цейсс», «Электро Специаль» и «Сименс» — приступили к разработке и производству следующих тепловизионных приборов: прицела/наблюдательного прибора для танков «Леопард 1», «Леопард 2», БМП «Мардер» и БРМ «Лукс» («Цейсс»/«Тексас Инструментс»); прицела/наблюдательного прибора для ПТУР «Хот» («Электро Специаль»/«Эльтро»), прицела AN/TAS-4 для ПТУР TOW («Сименс»/«Тексас Инструментс»), размещенных на боевых машинах «Ягуар 1», «Ягуар 2» и «Крака». Приведенная выше структурная схема ТВП целиком относится к тепловизору западногерманского производства, предназначаемому для установки в танки «Леопард 1», «Леопард 2», БМП «Мардер» и БРМ «Лукс», выполненному в полном соответствии с системой «Общих модулей».

Тепловизионный прицел, изготовленный фирмой «Цейсс» при участии фирмы TI, установлен в танке «Леопард 2» в общем окне с объективом дальномера EMES15. В этом прицеле, как и в его американском прототипе, осуществлено оптическое мультиплексирование, т. е. прямое видение, когда изображение, получаемое на светодиодной

линейке, рассматривается в окуляр прицела, а не на экране электронно-лучевой трубки, как это имеет место в электронной системе EOMUX, которая, по мнению западногерманских специалистов, является уязвимой к электромагнитному импульсу при ЯВ. Система EOMUX была применена позже в новом американском танке М1.

Западногерманские специалисты, оценивая качества нового способа ночного видения, отмечают, что с помощью тепловизионного прицела можно обнаруживать и опознавать цели на значительно большей дальности, чем в видимом диапазоне в дневное время: цели, излучающие много тепла, опознаются даже на дальности 4000 м. Поэтому формулу «Основная боевая дальность ночью равна половине боевой дальности днем», которая была действительна для активных приборов нулевого поколения, можно уже заменить после оснащения средств БТТ тепловизионными приборами формулой «Основная боевая дальность ночью равна боевой дальности днем».

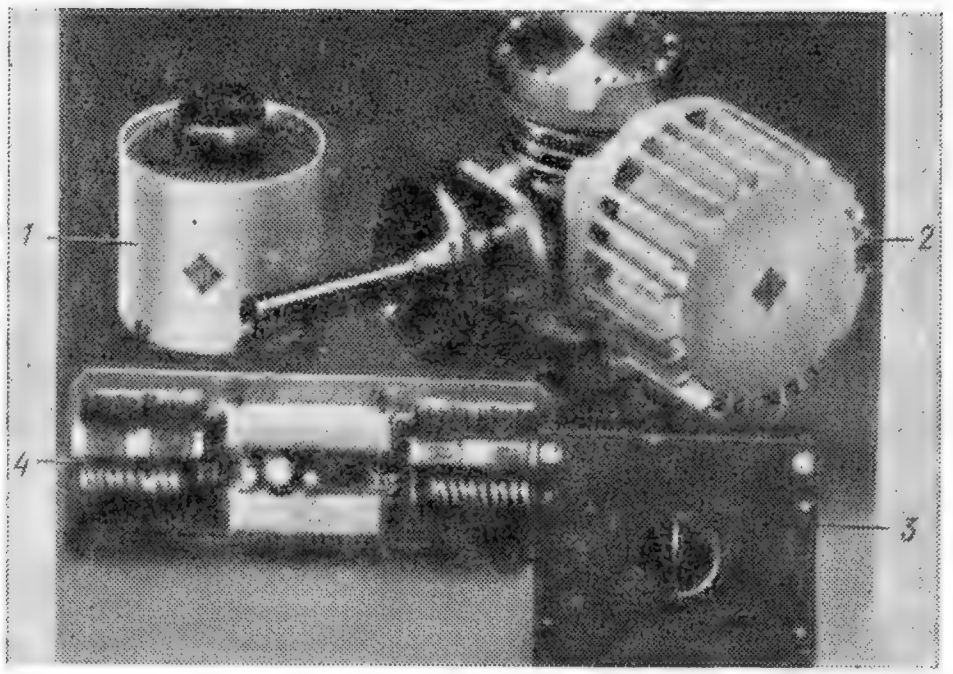


Рис. 62. Критические модули системы СМ:
1 — детектор в дьюаре; *2* — криогениая машина с циклом Стирлинга; *3* — панель со светодиодами; *4* — усилители

На рис. 62 показаны так называемые критические модули, которые не подлежат продаже другим странам, кроме ФРГ.

Западногерманские фирмы «Цейсс», «Сименс», «Эльтро» и др. не ограничили свою деятельность изготовлением тепловизионных приборов различного назначения по системе «Общих модулей» США и развернули работы по созданию новых тепловизионных приборов и интегрированных систем наблюдения, таких, как тепловизионный прицел для ПТУР «Милан» — «Мира», интегрированная система «Тригат».

Ведущие фирмы ФРГ приняли большое участие в переоснащении боевых танков, имеющих активные и пассивные ПНВ, пассивными теплообнаружительными и тепловизионными приборами, существенно улучшившими тактические характеристики вооружения, обеспечивающего возможность ведения боевых действий в условиях ограниченной видимости днем и ночью.

В настоящее время продолжается перевооружение средств БТТ бундесвера с заменой ПНВ на приборы, действующие в диапазоне 3—5 и 8—14 мкм. Истребительно-противотанковые войсковые подразделения оснащаются тепловизионным прибором, встроенным в штатную головку прибора наблюдения и наведения танка-истребителя с ракетным вооружением «Ягуар 1» (ПТУР «Хот»). Тепловизионным прибором наблюдения и стрельбы ракетами TOW располагает истребитель танков «Ягуар 2», на котором установлен прибор AN/TAS-4A. В отличие от американского базового прибора он питается от бортовой системы энергоснабжения танка и вместо системы охлаждения Джоуля—Томсона с газовыми баллонами имеет холодильную машину с замкнутым циклом.

В настоящее время фирма «Карл Цейсс» разрабатывает новый гиростабилизированный панорамный перископ день/ночь, дневная ветвь которого имеет увеличение 2,5 и 10× при соответственной величине угла поля зрения 24 и 6 град. Тепловизионный канал прибора с рабочим спектральным диапазоном 8—12 мкм имеет увеличение 10× и поле зрения 5×2,5 град.

Прибор, обозначенный как PERI-RT90, предназначается для проектируемого бундесвером танка 90-х годов взамен существующей системы видения PERI-R17, которой оснащены в настоящее время танки «Леопард 2», боевая машина пехоты «Мардер» и разведывательная машина «Лукс». Хотя перископ используется в качестве независимой единицы, он может найти применение в интегрированной СУО танка. Для питания прибора необходимо напряжение 18—32 В. Расход мощности, потребляемой прибо-

ром, составляет 200 Вт. Температурные пределы работы аппаратуры от минус 35 до +63° С. Потенциальным потребителем этой системы является бундесвер, по заказам которого разрабатывается семейство боевых машин «Кампфваген 90». Опытные образцы перископов прошли полевые испытания.

На рис. 63 приведен комплект аппаратуры гиростабилизированного перископа день/ночь с тепловизионным ка-

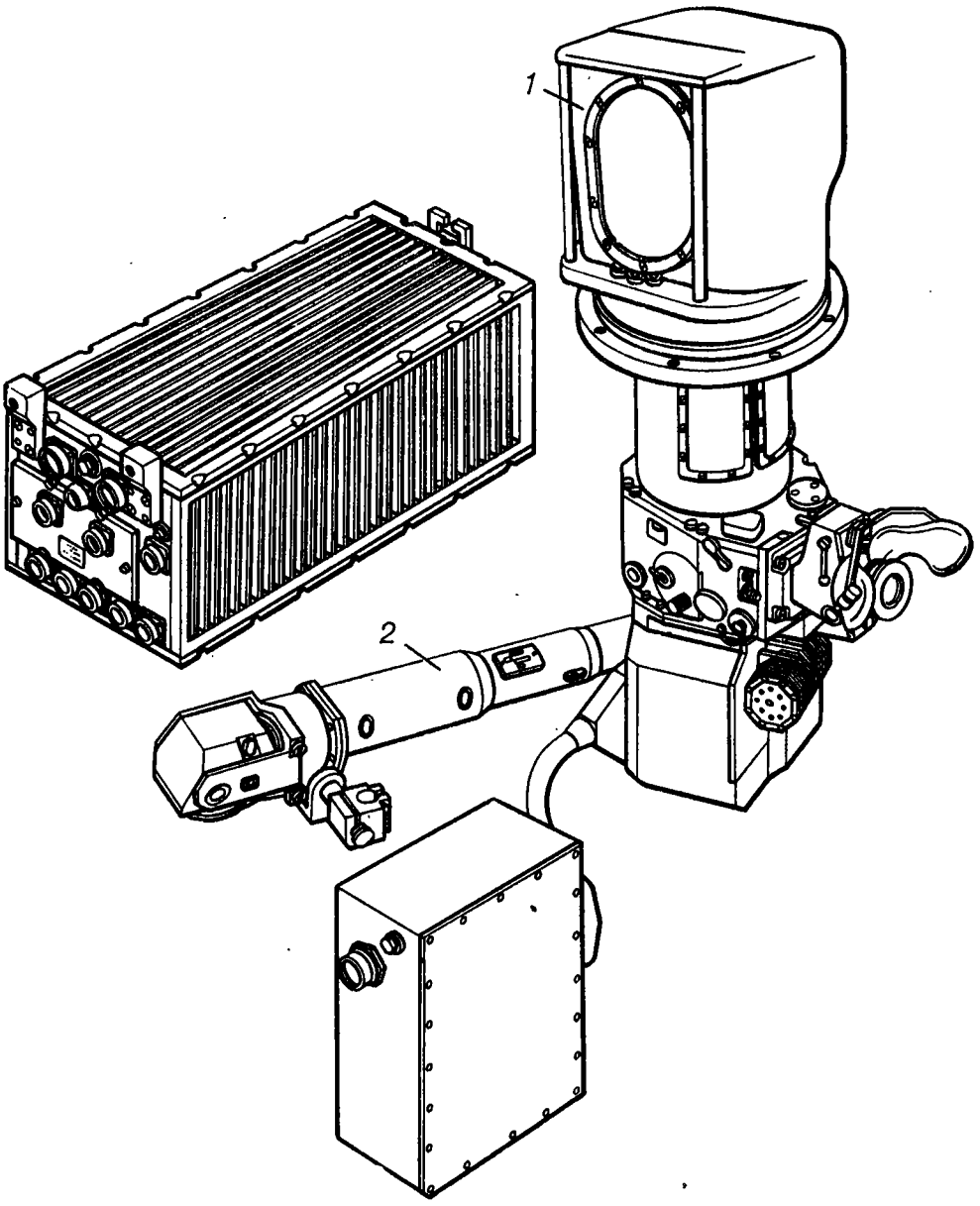


Рис. 63. Гиростабилизированный панорамный перископ день/ночь D-7082 с тепловизионным каналом в системе видения PERI-RT 90 для семейства боевых машин 90-х годов:

1 — перископ тепловизионного прибора; *2* — перископ дневного канала

налом PERI-RT90 для семейства боевых машин 90-х годов.

Последовательное сканирование предусматривает линейное расположение детекторов, при котором каждая точка изображения сканируется каждым детектором. Линия задержки, имеющаяся в электронной схеме обработки сигнала, обеспечивает фазовое интегрирование всех детекторов ряда от любой точки картины во время сканирования, что существенно улучшает соотношение сигнал/шум— в число раз, равное числу детекторов в ряду.

Примером использования последовательного сканирования может служить тепловизионная аппаратура «Мини Флир», разработанная в США фирмой «Хонеуэлл». Качество изображения, полученное с помощью этой аппаратуры, подтвердило целесообразность ее использования для решения задачи наблюдения с подвижного носителя — вертолета — в ходе испытаний в ФРГ.

По сообщению печати, один из вариантов этой аппаратуры применяется израильской армией в танках М60.

По-видимому, большого распространения этот способ сканирования не получил, хотя и сыграл определенную роль в британском тепловидении.

Последовательно-параллельное сканирование как бы уравновешивает достоинства и недостатки двух упомянутых выше методов, характерных для тепловизионной аппаратуры I поколения. Этот метод нашел сторонников во Франции и Великобритании и был положен в основу тепловизионных приборов II поколения.

5.3.3. Французская модульная тепловизионная система SMT

В основу французской тепловизионной модульной системы SMT (Système Modulaire Thermique) положен параллельно-последовательный способ сканирования матрицей, состоящей из определенного количества детекторов, расположенных по горизонту и вертикали.

Французскими фирмами SAT и TRT, проводившими разработку, определен состав модульных блоков, в результате чего конструктивные характеристики системы SMT таковы:

спектральный диапазон работы 8—12 мкм;
материал детекторов—теллурид кадмия и ртути (КРТ);
число детекторов в матрице 11×5;
параллельно-последовательное сканирование;

высокоэффективная оптика с небольшим числом линз;

два-три сменных поля зрения от 2 до 55 град;

возможность совмещения со стандартной ТВ-системой на 625 строк;

разрешение более 500 строк;

возможность применения дисплея на светодиодах;

возможность выхода на системы обработки изображения;

применение разомкнутых (на эффекте Джоуля—Томсона) или замкнутых (по циклу Стирлинга) систем охлаждения;

разрешающая способность по температуре 0,1° С;

потребляемая мощность менее 70 Вт;

помехозащищенность от факелов ракет и трассеров снарядов.

В состав модульной системы SMT входят:

модуль параллельно-последовательного сканирования с использованием горизонтального и вертикального сканеров на зеркалах (рис. 64);

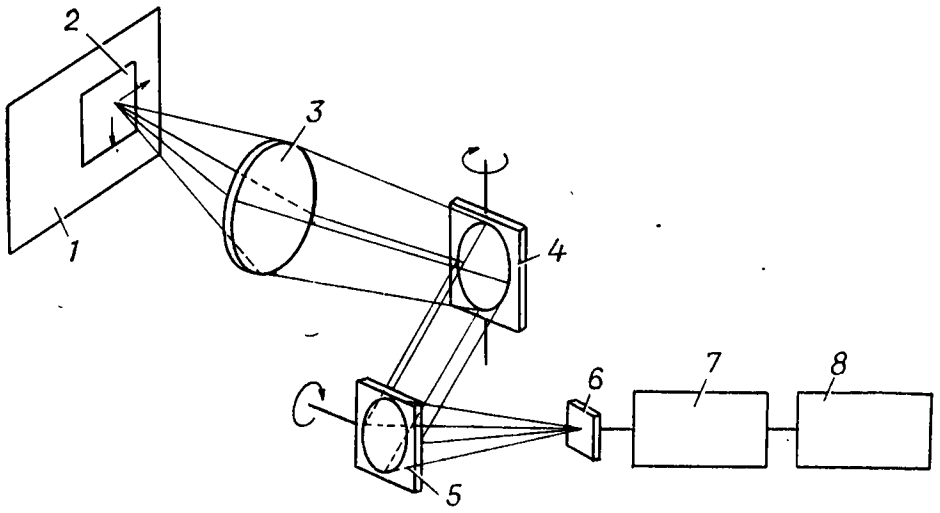


Рис. 64. Структурная схема тепловизионного прибора с последовательно-параллельным сканированием:

1 — поле зрения в плоскости объекта наблюдения; *2* — проекция детектора в плоскости объекта; *3* — ИК-объектив; *4* — горизонтальная развертка изображения; *5* — вертикальная развертка; *6* — детектор; *7* — блок обработки сигналов; *8* — видеомонитор

детекторный модуль на двумерной матрице из 5×11 элементов КРТ;

модуль криогеники для охлаждения матрицы детекторов до 77 К в дьюаре с микрохолодильником с разомкнутой цепью на эффекте адиабатического расширения газов

(эффект Джоуля—Томсона) или на холодильной машине с циклом Стирлинга;

модуль обработки сигналов всех каналов детекторного модуля, выдаваемого усилителями для формирования единого видеосигнала управления на ЭЛТ;

модуль дисплея, представляющий собой матрицу на светодиодах для непосредственного наблюдения в окуляр, а также путем передачи сигналов управления на ЭЛТ;

контрольно-проверочный модуль для определения неисправности и обеспечения ее устранения.

Помимо перечисленных основных модульных блоков система SMT предусматривает ряд дополнительных: блок питания, телевизионный монитор, набор элементов сканирующей системы, блок контроля — и дополнительные элементы к объективу для изменения поля зрения.

Масса комплекта основных модулей 9,5 кг, но в случае использования в военной технике может быть уменьшена до 7 кг.

Потребляемая аппаратурой тепловизора мощность для случая работы с индикатором на светодиодах составляет 50 Вт, на ЭЛТ — 70 Вт при напряжении источника постоянного тока 24 В.

Основные тактико-технические характеристики системы SMT:

поле зрения:

основная система — 54 град;

с применением вариофокальных объективов — от 7,7 до 2,6 град;

дальность обнаружения:

торпедного катера — 23 км (с полем зрения 7,7 град);

танка — 4,2 км (с полем зрения 10,8 град);

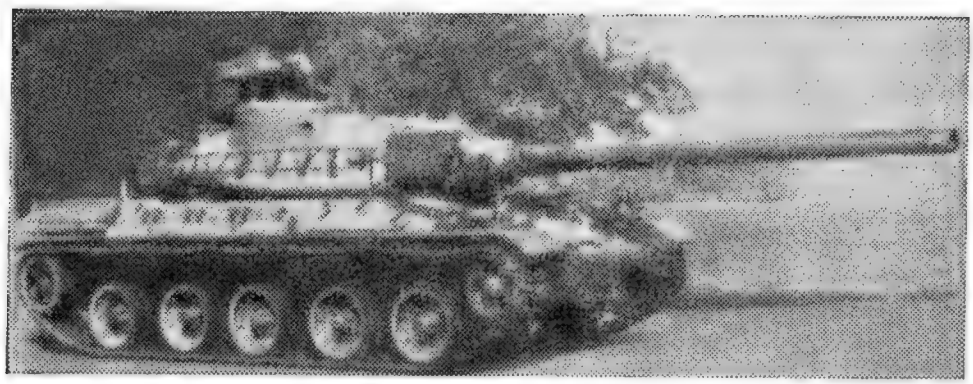


Рис. 65. Тепловизионный прибор «Кастор» на танке AMX-30B2 (справа от орудия)

Дальность опознавания:
торпедного катера — 15,5 км (с полем зрения 2,6 град);
танка — 3,1 км (с полем зрения 3,6 град).

Модульные тепловизоры, разработанные на основе системы SMT, используются:

в танке AMX-30B2 — прицелы «Кастор» и «Мефисто» для обнаружения, разведки и опознавания целей, а также для ведения по ним огня из пушки (рис. 65);

в бронемашинах VAB и EPC, разведывательной машине VOA — прицел «Визир»;

в самолетах ANC и вертолетах WC13 и «Линкс» — приборы наблюдения «Портос» и «Афродита» (рис. 66).

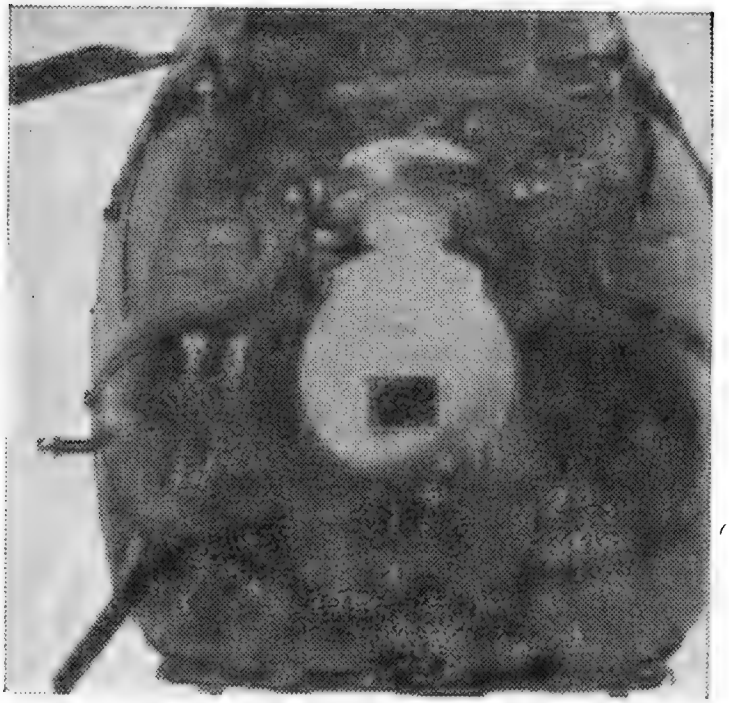


Рис. 66. Тепловизионный прибор «Афродита» на вертолете

Модульные тепловизионные приборы, изготавливаемые французской фирмой TPT для сухопутных войск, — «Мира», «Танго», «Мефисто», «Кастор», «Виктор», «Галиопа» — имеют выход на телевизионный индикатор и отличаются высокими качествами по обнаружению (4000 м), опознаванию (2500 м) и идентификации (2000 м) тактических целей.

Французская фирма SAT, работающая совместно с фирмой TRT по реализации модульной системы SMT, изуча-

ет возможности использования тепловизионного прибора наблюдения в лазерном целеуказателе «Атлис» фирмы «Томсон». Поставка первых опытных образцов тепловизионных приборов, изготовленных по системе SMT, выполнена.

Для подводных лодок системой SMT предусмотрено использование в тепловизионной аппаратуре наблюдения фотоприемника на 96 элементах КРТ, а для кораблей ВМС, самолетов и вертолетов в системах разведки и управления огнем — на 128 элементах.

5.3.4. Модульные системы Великобритании

Модульная система TICM (Thermal Imaging Common Module), принятая к реализации в 1976 г., предусматривала разработку тепловизионных приборов трех классов:

класс I — приборы прямого видения для переносных приборов с газобаллонным охлаждением на эффекте Джоуля—Томсона (77 К) или ТЭО (140 К);

класс II — приборы с переносом изображения для систем наведения ПТУР, разведывательных приборов дальнего действия и танковых прицелов;

класс III — приборы с большой дальностью действия для самолетов и боевых вертолетов.

Система развертки, основанная, как и французская система SMT, на параллельно-последовательном принципе сканирования, использует два оптических элемента развертки. Фотоприемником служит приемник на КРТ или сурьмянистом индии в виде матрицы $n \times S$ элементов. Модуль I класса предусматривает фотоприемник из 24 элементов КРТ или InSb с охлаждением 140 К. Модули II и III классов используют фотоприемники на КРТ с числом площадок 48 и 88 соответственно, с рабочей температурой 77 К, что предусматривает применение системы охлаждения на эффекте Джоуля—Томсона или ХМ с циклом Стирлинга. В качестве привода сканера, работающего с частотой 25 Гц, в модуле I класса используется один электродвигатель мощностью 1 Вт при энергопотреблении всей системы 8 Вт. В модулях II и III классов применяются два электродвигателя. В качестве индикаторов применяются светодиодные матрицы или ЭЛТ. К модулям, используемым во всех трех классах, принадлежат микротеплообменник с фотоприемником, предусилители и некоторые компоненты системы охлаждения. Большинство модулей I класса— сканер, электроника, дисплей на СД — являют-

ся специализированными, в то время как в модулях II и III классов применяются в основном одинаковые модульные блоки.

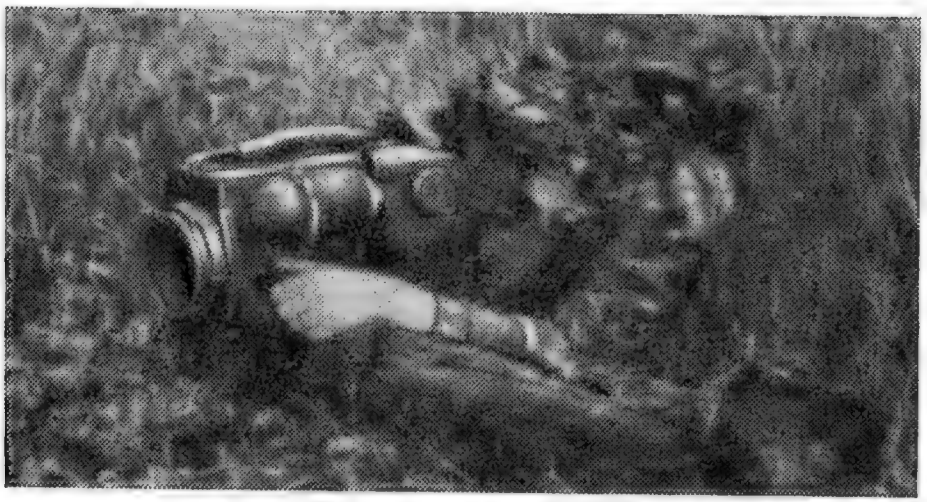


Рис. 67. Наблюдательный тепловизионный прибор MRTI модульной системы TICM (Великобритания)

На рис. 67 показан портативный прибор MRTI — один из наиболее распространенных в британской армии. Этот тепловизор применялся в Фолклендской операции.

Координация работ по системе TICM осуществлялась рядом английских фирм, во главе которых стояла известная фирма «Маркони Эйвионикс». Фотоприемники для тепловизоров разрабатывались фирмой «Радар Сигналс», а их изготовление взяла на себя фирма «Муллард».

Программа создания унифицированных модулей (помимо указанных выше фирм) параллельно разрабатывалась фирмой «Барр энд Страуд», известной старшему поколению советских инженеров своими дальномерами, которая изготовила по заказу МО Великобритании тепловизионный прибор IR18 для подводных лодок (фирма изготавливает также перископы для ПЛ). По мнению фирмы, прибор IR18 имеет ряд преимуществ по сравнению с другими ТВП II класса, в том числе меньшее энергопотребление (30 вместо 90 Вт), габаритные размеры и массу, поэтому его рекомендуют для установки в танки и боевые вертолеты.

Основой разработанных фирмой модульных приборов является Signal Processing in the Element — Спрайт-детектор, изготовлением которых занимается фирма «Муллард».

Новый детектор представляет по конструкции полоску из КРТ (отсюда его название — полосчатый), смонтированную на сапфировой подложке. В отличие от обычных фотоприемников линейного или матричного типа, требующих для обработки сигналов специальных электронных схем, задержка и суммирование принимаемых сигналов происходят внутри самого Спрайт-детектора, что существенно упрощает процесс обработки. Кроме того, значительное сокращение числа соединительных проводов привело к существенному уменьшению паразитных теплопритоков, что позволило сократить габаритные размеры и массу систем охлаждения и снизить мощность двигателей в холодильных машинах (ХМ) с замкнутым циклом Стирлинга.

Естественно, преимущества нового детектора вызвали живой интерес у фирм — производителей тепловизионной аппаратуры, вследствие чего разработкой тепловизионных

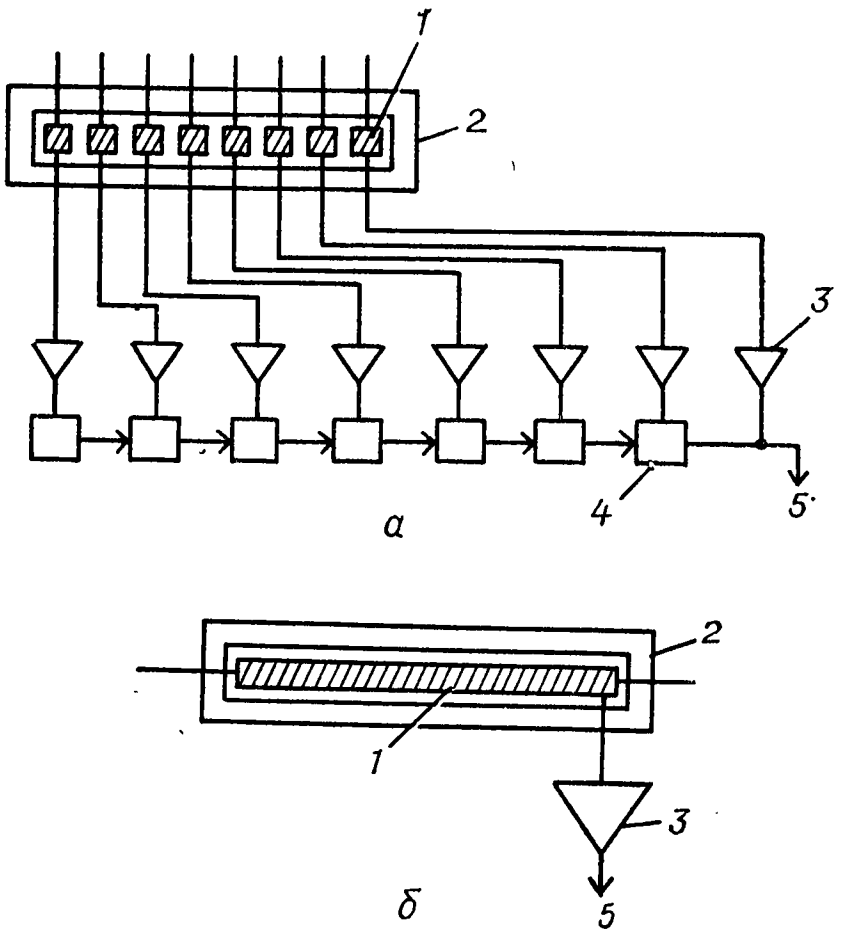


Рис. 68. Принцип обработки сигналов в линейных системах (*а*) и Спрайт-детекторе (*б*):

1 — элемент детектора; *2* — подложка; *3* — предусилитель; *4* — задержка; *5* — выход на дисплей

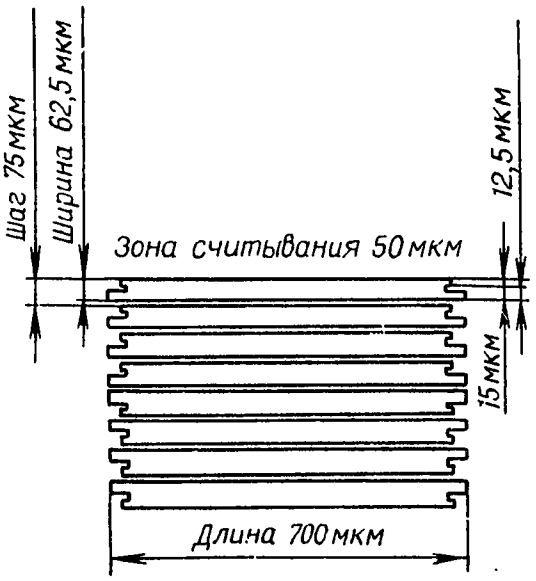


Рис. 69. Устройство и топология Спрайт-детектора

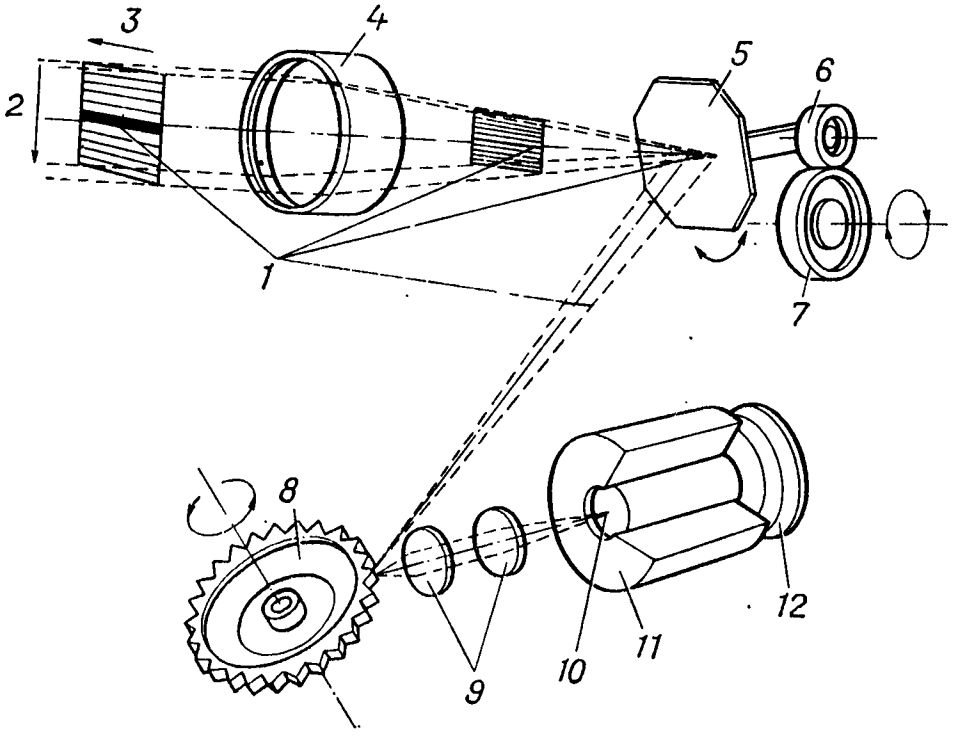


Рис. 70. Структурная схема тепловизора на Спрайт-детекторе:
1 — проекция Спрайт-детектора; *2* — вертикальное сканирование; *3* — горизонтальное сканирование; *4* — входная оптика; *5* — вертикальный сканер; *6* — ведомый шкив кулачка; *7* — кулачок; *8* — горизонтальный сканер (зубчатый ротор); *9* — переключающаяся оптика; *10* — Спрайт-детектор; *11* — модуль предусилителей; *12* — дьюар

приборов с применением Спрайт-детектора занимаются не только английские, но и нидерландские и шведские фирмы; интерес к этому детектору проявили также и французские промышленники и некоторые фирмы США. Число моделей ТВП, использующих Спрайт-детектор, составляет, по опубликованным данным, около 10.

Приведенный на рис. 68 принцип действия Спрайт-детектора (по сравнению с линейным способом обработки сигнала) убедительно доказывает преимущество нового способа детектирования. По мнению специалистов, Спрайт-детектор обеспечивает получение качества изображения в тепловизорах, равноценного тепловизорам модульных систем с фотоприемником, состоящим из 100 элементов.

На рис. 69 изображены устройство и топология Спрайт-приемника. Применение этого приемника требует некоторых изменений в схеме сканирования (на рис. 70), отличающейся от сбычных схем параллельно-последовательного сканирования в модульных системах SMT и TICM. По приведенной схеме работает тепловизионная камера VA9053, разработанная и изготовленная фирмой «Филипс» в Нидерландах (рис. 71).

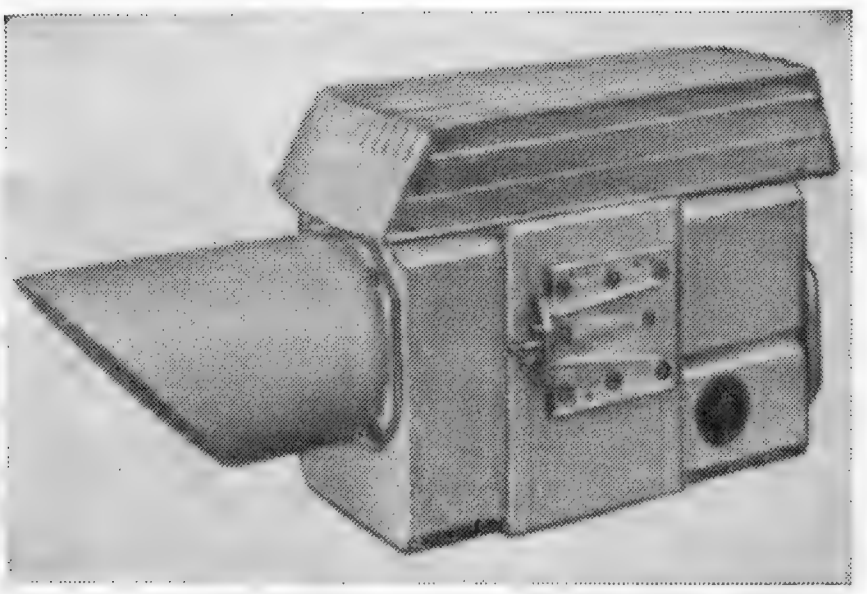


Рис. 71. Тепловизионный многоцелевой прибор UA9053 на Спрайт-детекторе фирмы «Филипс» (Нидерланды)

Фирма «Филипс» помимо Спрайт-детектора выпускает следующие фотоприемники для телевизионной аппаратуры многих стран:

M1RPY из 64 элементов для переносных ТВП;

M2RPY на 50 элементах для межнационального тепловизора «Мира-2»;

M3RPY на 55 элементах для приборов модульной системы SMT;

M4RPY на 120 элементах для системы СМ США и ФРГ;

M5RPY на одном элементе для теплообнаружителя БМП «Мардер».

Характерно, что такая «старая» система, как СМ, и частично TICM не принимаются другими европейскими странами в качестве основы для создания национальной тепловизионной аппаратуры. Эти страны стараются использовать лишь отдельные элементы модульных систем, отбирая лучшие, наиболее подходящие для организации производства.

Кроме тепловизоров с применением Спрайт-детектора наиболее перспективной представляется французская система SMT, являющаяся основой построения многих ТВП-систем с высокими характеристиками для всех родов войск. Недаром разработка интернационального тепловизионного прибора «Мира-2» (рис. 72) была осуществлена на основе системы SMT при участии Великобритании и ФРГ.

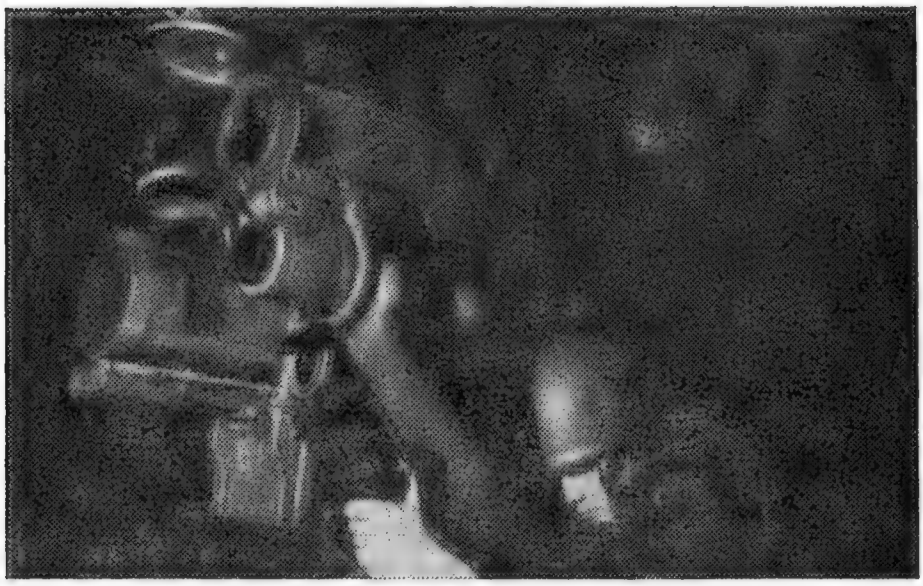


Рис. 72. Тепловизионный интернациональный прибор «Мира-2» на установке ПТУР «Милан» (Франция, Великобритания, ФРГ)

На рис. 73 и 74 показаны многоцелевые ТВП IR18 MkII и SS600, изготавливаемые британскими фирмами, оба с применением Спрайт-детектора, а на рис. 75 — интегрированная система наблюдения SAMTOR, включающая в себя тепловизионную камеру и лазерный дальномер на АИГ.

Сравнение описанных выше принципов построения тепловизионных модульных систем приводит, по мнению зарубежных специалистов, к следующим выводам:

модульная система СМ, использующая большое количество детекторов, обладает высокими характеристиками, обеспечивающими работу аппаратуры в плохих метеоусловиях, характерных для Западной Германии. В итальянских тепловизорах для танка, использующих в качестве основы систему СМ, применяются фотоприемники с вдвое меньшим числом детекторных элементов (с учетом хороших погодных условий Италии);

модульная система SMT обеспечивает высокое качество передачи изображения благодаря малым размерам детекторных элементов и возможности прямого выхода на ТВ-дисплей. Отмечается также хорошая компактность ТВП-аппаратуры, ее невысокое энергопотребление и относительная низкая стоимость;

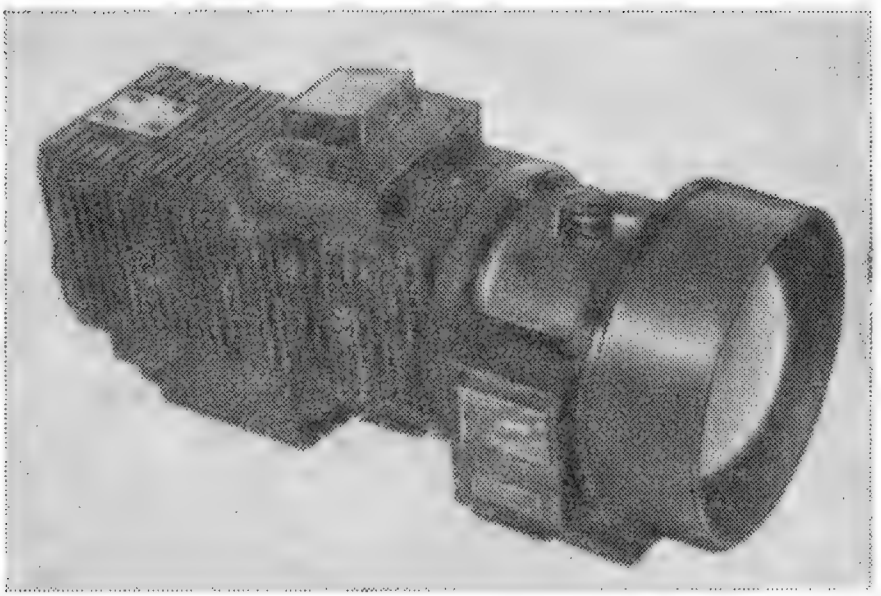


Рис. 73. Многоцелевой модульный тепловизионный прибор IR18 MkII (применяется в различных модификациях в системах наблюдения и прицеливания, в качестве теплового датчика, в интегрированных системах наблюдения и разведки, в объектах БТТ, боевых вертолетах, кораблях)

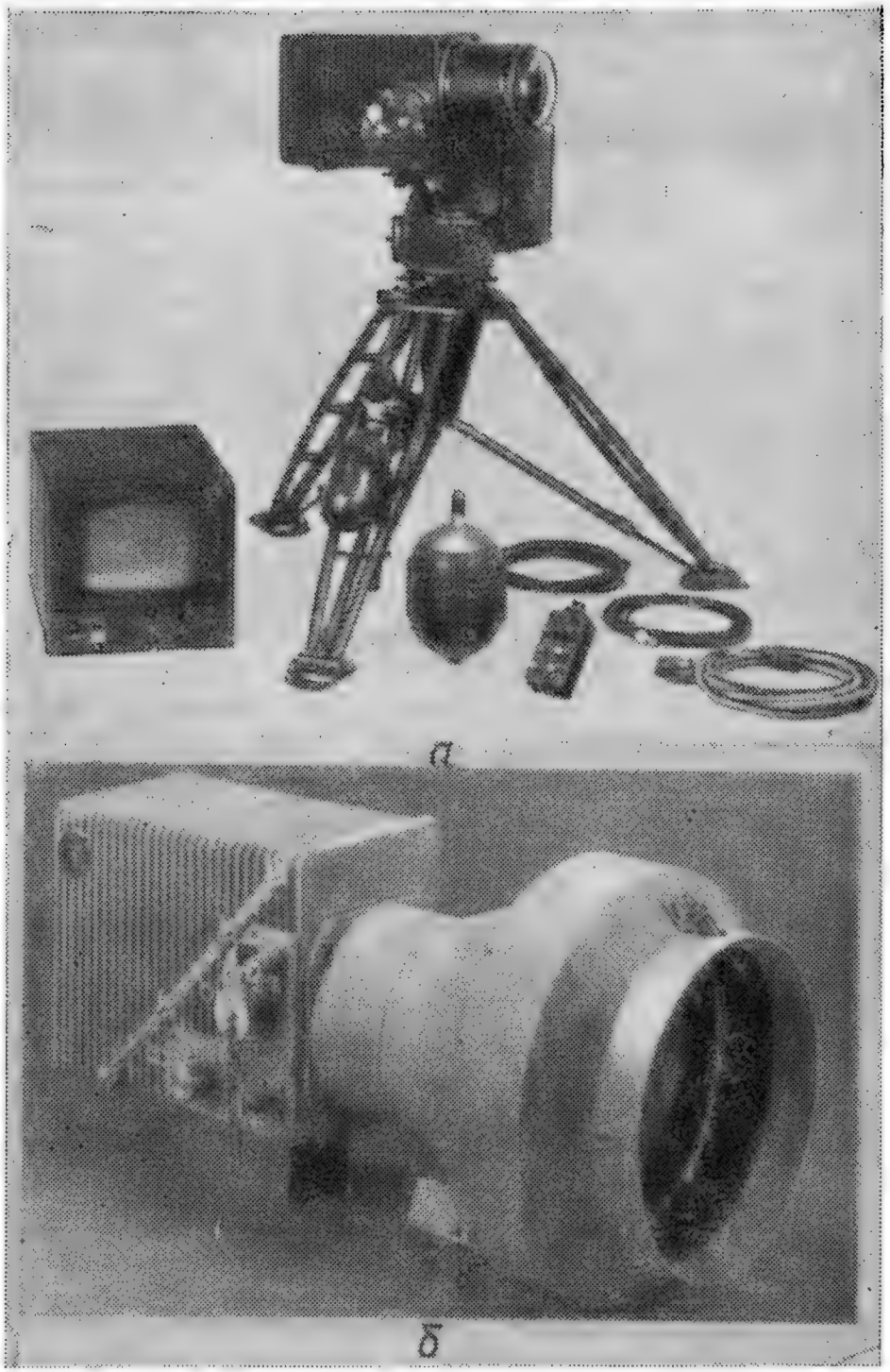


Рис. 74. Многоцелевой тепловизионный прибор SS600 для интегрированных систем круглосуточного наблюдения (*а*) и разведки целей с дальномерами в СВ и ВМС (*б*)

применение Спрайт-детектора наряду с высоким качеством изображения чрезвычайно упрощает технологию производства тепловизионной аппаратуры.

Рассматривая эффективность различных модульных систем с точки зрения их использования в будущем, не следует давать негативную оценку существующим национальным производственным возможностям, в особенности фирмам АЕГ, «Телефункен» и «Цейсс» в ФРГ, ТРТ и САТ во Франции, а также «Барр энд Страуд» и «Муллард» в Великобритании. По экономическим и политическим соображениям каждая из этих стран будет использовать национальные производственные ресурсы.

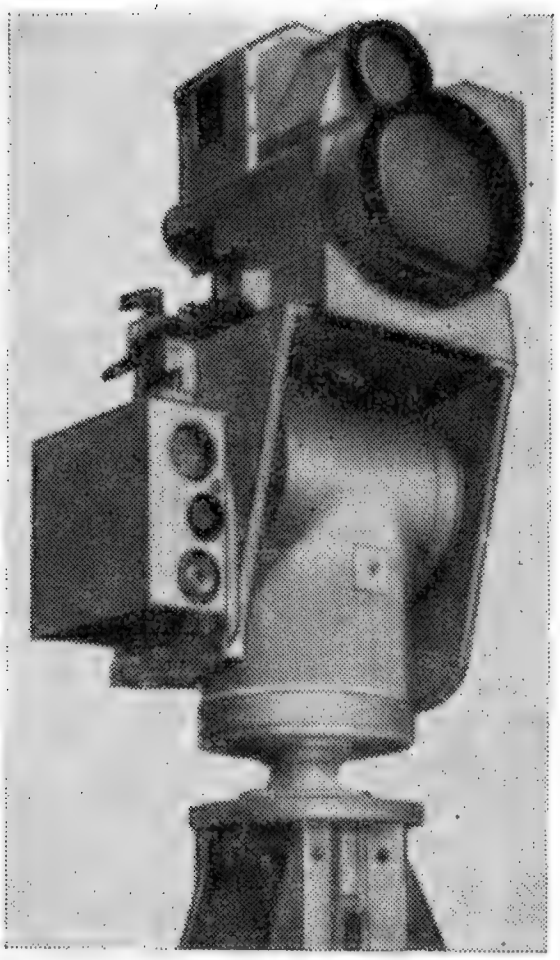


Рис. 75. Интегрированная система наблюдения SAMTOR, состоящая из тепловизионного прибора (дальность действия по танку до 6 км с определением координат цели угломерным прибором и лазерным дальномером)

Таким образом, европейская система ночного видения может быть реализована при условии, что все страны будут готовы гарантировать лицензионное производство тепловизионной техники, так считает журнал «Интернейшнл Дефенс Ревю» (1984, Т. 17. № 4).

5.4. Тепловизионные приборы в зенитных ракетных комплексах

Как известно, основную роль в осуществлении поиска и сопровождения воздушных целей играют РЛС. Однако в связи с применением противорадиолокационных головок самонаведения возникла необходимость использования пассивных систем обнаружения с применением низкоуровневого телевидения, пассивных ПНВ и тепловизионных

приборов, обеспечивающих обнаружение теплоизлучающих целей в условиях дымки, тумана и облачности.

Так, военное командование Великобритании сочло необходимым провести разработку тепловизионного прибора для пассивного обнаружения воздушных целей вместо разведывательных РЛС для ЗРК «Рапира». При этом оно настаивало на использовании тепловизионных модулей, разрабатываемых фирмой «Барр энд Страуд», в частности IR18, с заменой существующей в приборе газобаллонной системы охлаждения на ХМ по циклу Стирлинга.

Таким же прибором предполагалось оснастить ЗРК «Блоупайп».

При модернизации ЗРК «Рапира» (90-е годы) предполагается ввести нашлемный прибор для командира и оптический прицел с тепловизионным каналом для наводчика. В случае объединения ТВП аппаратуры с лазерным дальномером на CO_2 и подключения к ним компьютера с выходом на ЭВМ, возможно, будет создан передвижной вариант ЗРК «Рапира» без РЛС обнаружения и сопровождения.

В гусеничном самоходном ЗРК «Рапира» намечено использовать ТВП-систему наведения для ночных стрельб путем ввода тепловизионного канала в бинокуляр оператора. В основу системы предполагается положить комбинированный прицел день/ночь с индикатором на светодиодах, разработанный фирмами «Бритиш Евроспейс» и «Барр энд Страуд» для ПТУР «Свингфайр», однако вместо светодиодного индикатора будет использована ТВ-трубка с четкостью 625 строк.

Все указанные выше тепловизионные приборы используют линейную систему сканирования.

Фирма «Сименс» провела исследования возможности применения пассивных ИК-систем для обнаружения и сопровождения воздушных целей в диапазоне длин волн 3—5 мкм, где тепловой контраст цели на фоне неба достигает большой величины. Особенностью следящего устройства, создаваемого фирмой, является радиальная развертка с углом раствора от 1,5 до 3 град, благодаря чему в центре картины достигается очень высокая плотность информации. Разрешение прибора 0,25 мрад, что соответствует 1 м на дальности 4 км. Для того чтобы удержать следящее устройство на летящей цели, нужно следить оптическим или тепловым центром прибора. Если объединить эту систему, которая получила название SIRETRAC, с лазером, излучающим на длине волны 1,06 мкм с частотой

порядка 6 Гц, то можно получить систему управления огнем ЗА среднего калибра.

К числу достоинств прибора с полярной системой развертки можно отнести увеличивающуюся от края к центру плотность информации, что обеспечивает обнаружение целей на периферии кругового поля с небольшим линейным разрешением и их опознавание наблюдением в центре круга, где линейное и температурное разрешения имеют максимальную величину. Однако сведения о реализации такой системы не поступали.

Объединение ТВП следящей системы с лазерным дальномером (ЛД) и с телевизионной камерой предполагалось в аппаратуре слежения ЗРК «Адат», где обнаружение цели должен осуществлять тепловизор, а сопровождение — лазерный дальномер на CO_2, что обеспечивает надежное слежение ночью и в ухудшенных условиях видимости.

В связи с тем что лазерный дальномер на CO_2 работает на длине волны 10,6 мкм, т. е. в тепловизионном диапазоне длин волн, его фотоприемник, как и фотоприемник ТВП, требует охлаждения до 77 К, что представляет известные трудности. Поэтому делаются попытки использования в интегрированных системах ТВП — ЛД на CO_2 единого фотоприемника.

5.5. Обнаружители теплоизлучающих целей

В некоторых зарубежных танках, использующих в качестве приборов ночного видения пассивные приборы наблюдения и прицелы, находят применение теплообнаружительные приборы — индикаторы теплового излучения. Такие индикаторы являются вспомогательным средством, дополняющим информацию, полученную с помощью прибора ночного видения. В самом деле, уже на дальности, близкой к пределу, у командира или наблюдателя возникают сомнения в определении цели, а следовательно, и в выборе боеприпаса. Поэтому получение дополнительных сведений о цели (является она теплоизлучающей или нет) очень важно для принятия решения о ее подавлении.

В некоторых зарубежных танках, оснащенных ПНВ, применяются различного рода тепловые индикаторы. Так, бронемашины бундесвера оснащаются ПНВ BM8025, которым придается теплообнаружитель, чья информация при обнаружении теплоизлучающей цели накладывается в виде ярких точек на изображение цели в поле зрения ПНВ. Дальность действия теплообнаружительного прибора око-

ло 2000 м при увеличении 6× и угле поля зрения 5—6 град. Датчик теплообнаружителя крепится на корпусе башни. В БМП «Мардер» в течение 1979—1982 гг. из парка 2136 машин теплопеленгаторами с дальностью действия по объектам БТТ 1200 м было оснащено 1024 машины.

В британском танке «Чифтен» в поле зрения прицела имеется специальная метка теплопеленгатора XLIEI фирмы «Мель», работающего в диапазоне 8—13 мкм и обнаруживающего замаскированные обычными способами цели в том случае, когда уровень их собственного излучения отличается от уровня излучения окружающей местности. Обнаруженная цель помимо светящейся отметки в поле зрения сопровождается звуковым сигналом в головном телефоне командира. Теплопеленгатор сканирует местность в угле поля зрения 20 град по горизонту и 13 град по вертикали с угловым разрешением около 10 мин. Скорость сканирования 5 Гц. В качестве теплоприемника используется триглицинсульфатный детектор длиной 230 мм, шириной 15 мм и высотой 220 мм. Масса прибора 12 кг.

Другой вид теплообнаружительных приборов — тепловизионный прибор на пировидиконах—обладает несомненными достоинствами по сравнению с теплопеленгаторами и теплообнаружителями: возможностью видеть цель, а не тепловую отметку, и отсутствием необходимости охлаждения приемника.

Так, разработанный британской фирмой «Инглиш Электрик Вэлв» и демонстрировавшийся на выставке в Олдершоте пировидикон P8090, обладающий чувствительностью в области длин волн 8—14 мкм, обеспечивает наблюдение теплоизлучающих целей с температурным разрешением 0,2 град. Прибор имеет длину 101,6 мм, диаметр 25,4 мм и массу 60 г. Разрешающая способность всей камеры 0,2 мрад. Камера вырабатывает телевизионный сигнал, доступный для визуализации целей на обычный ТВ ВКУ. Объектив камеры массой 4 кг изготавливается из германия. Прибор работает в диапазоне температур до 40° и не нуждается в охлаждении. Большим достоинством ТВП на пировидиконе является отсутствие сканирующего устройства, как это имеет место в тепловизоре. Для дистанционного наблюдения в ночных условиях применяется пироэлектрический видикон типа 66XQ.

Недостатком пироэлектрических приборов наблюдения является необходимость модуляции входящего потока, так как пировидиконы реагируют не на статическое изображение, а на временно́е изменение теплового излучения, для

Таблица 5.2

Тактико-технические характеристики тепловизоров

Наименование (шифр) прибора	Дальность, м			Увеличение, крат	Поле зрения, град		Масса, кг	Рабочий диапазон, мкм	Фотоприемник		Разрешение		Способ охлаждения	Применение
	обнаружения	опознавания	идентификации		по горизонтали	по вертикали			материал	число	угловое, мрад	температурное, °С		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
США														
Прицелы: AN/TAS-4	3000	2000	—	—	6	4	7,25	8—14	КРТ	60	0,63	0,14	ГБ	СВ, ПТУР TOW с ЛЦУ G/VLLD
AN/TAS-4A														Ракетный истребитель танков «Ягуар» с ЛЦУ G/VLLD
AN/TAS-4B														
AN/TAS-5	1000	—	—	—	6,8	3,4	—	8—14	КРТ	60	—	—	ГБ	СВ, ПТУР «Дракон»
Наблюдательный прибор AN/TAS-6 с лазерным дальномером AN/GVS-5	4000	2000	—	—	4	2	19,5	8—14	КРТ	—	0,63	0,14	ГБ	СВ, артиллерия

Продолжение табл. 5.2

Наименование (шифр) прибора	Дальность, м			Увеличение, крат	Поле зрения, град		Масса, кг	Рабочий диапазон, мкм	Фотоприемник		Разрешение		Способ охлаждения	Применение
	обнаружения	опознавания	идентификации		по горизонтали	по вертикали			материал	число	угловое, мрад	температурное, °С		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
AN/VSG-2 — прицел	3000	2000	1000	—	—	—	30	8—14	КРТ	120	—	—	ХМ	СВ, танки M60A1, M60A3
TIRE (упрощенный вариант AN/VSG-2)	2000	1000	—	8 —	13 4,7	4,5 1,7	—	8—12	КРТ	60	—	0,3	ХМ	СВ, БМП MICV
Танковый прицел Мод. 200 TISS	3000	2000	—	—	9,7 2,4	7,3 1,8	28	8— 11,5	КРТ	20	0,12	0,3	ХМ	СВ
Танковый прицел 110 TIS AN/VSG-X	3000	2000	—	—	15	7,7	30	—	КРТ	120	—	—	ХМ	СВ, танк M1
Танковый водительский прибор AN/VAS-3	—	—	—	—	40	20	11,4	8—14	КРТ	—	—	—	—	СВ, танки M60 и M1
Многоцелевой наблюдательный прибор фирмы TI	20 км (корабль)	3000 (танк)	—	—	3,2	2,4	11	8—12	«Спрайт»	—	0,17	—	ГБ	СВ, ВМС, ВВС
Ручной наблюдательный прибор AN/PAS-7	500	200	—	—	12	6	4,8	3—5	PbSe	48	2	—	ТЭО	СВ (передовые посты наблюдения)

Великобритания														
Прицел IR10	—	—	—	—	38 6,3	26,5 4,4	8,4	—	—	—	—	—	—	СВ, танк «Чифтен»
Многоцелевой прибор IR18 МкII	—	—	—	2,5 9	38 4,2	25,5 2,6	8,5	8—13	Спрайт		1,73	0,3	ГБ ХМ	СВ, БТТ, ВМС ПЛ, ВВС
Многоцелевой прибор II класса TICM II	3000	—	—	—	6	5	15	8—12	Спрайт		2,27	0,1	—	—
Прицел — наблюдательный прибор «Альфа»	2500	—	—	—	12	9	36	—	—	—	—	—	—	СВ, ПТУР «Свингфайр»
Наблюдательный прибор «Маркони» SDS	2000	—	—	—	7,9	3,7	4	—	—	—	—	—	—	СВ (системы наблюдения и разведки)
Наблюдательный прибор DC-1045 MEL	1000	—	—	—	50 10	35 7	3	3—5	PbSe	—	—	—	ТЭО	СВ (наблюдение и разведка)
Ручной наблюдательный прибор LT1085	800	400	—		12,5 5	9,7 3,7	7	8—14	КРТ	30	0,6 0,24	0,15	ГБ	СВ (разведка), ВВС (вертолеты)
Ручной наблюдательный прибор LT1065	—	—	—	0,75	21	16	3	3—5	КРТ	—	2,3	0,3	ТЭО	СВ (СУО и наблюдение)
Наблюдательный прибор LWWI	—	—	—	—	13	8	10	8—10	КРТ	32	—	—	ГБ	СВ, БТТ, ПТП, ВМС
Ручной наблюдательный прибор EMI	—	—	—	2 5	20 8	8,6 3,4	5	8—12	КРТ	—	—	0,3	ГБ	СВ (рекогносцировка)
Ручной наблюдательный прибор HH1-8	—	—	—	2 4,9	9,6 3,85	5,6 2,25	3	8—12	КРТ	32	—	—	ГБ	СВ, БТТ и ЗУР

Продолжение табл. 5.2

Наименование (шифр) прибора	Дальность, м			Увеличение, крат	Поле зрения, град		Масса, кг	Рабочий диапазон, мкм	Фотоприемник		Разрешение		Способ охлаждения	Применение
	обнаружения	опознавания	идентификации		по горизонтали	по вертикали			материал	число	угловое, мрад	температурное, °С		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Многоцелевой прибор MRTI	—	—	—	—	12,9 4,9	8 3,2	13	8—13	КРТ	—	—	0,1	ГБ	СВ (наблюдение), ВМС
Ручной наблюдательный прибор HHI-3	—	—	—	—	5	3	2,5	3—5	PbSe	32	—	—	ТЭО	СВ
Тепловизионная камера HT10	5000	—	—	—	—	—	6	8—12	—	—	—	—	ХМ	СВ, ПТУР TOW, ВВС, ВМС
Интегрированная система наблюдения «день/ночь» с ЛД — SS500	—	—	—	2,5/9	5,7/6	4,3/6	36	8—13	—	—	—	—	—	СВ, артиллерия
Интегрированная морская разведывательная система с ЛД — SS600	—	—	—	5 20	40	30	—	8—13	Спрайт		2,1	0,15	—	ВВС (вертолеты), СВ, ВМС (корабельные СУО)

Франция														
Прицел — наблюдательный прибор «Кастор»	4000	—	—	—	9 4	6 2,7	—	8—13	КРТ	—	0,2	—	ХМ	СВ, танк АМХ-30В2, АПНП VOA
Прицел — наблюдательный прибор «Мефисто»	4000	2000	—	—	9 3	6 2	—	—	—	—	0,02	—	—	СВ, ПТУР «Хот», ЗУР «Роланд», «Кроталь» и «Мистраль»
Наблюдательный прибор — прицел СТ14 (СТ15)	—	—	—	—	2—50	—	<7	—	КРТ	96 (128)	—	—	—	ВМС (перископ «Пивиар» ПЛ), ПУО, ЗРК
Панорамический прибор наблюдения и локации воздушных целей «Випера»	10 000	—	—	—	360	20	<70	8—13	КРТ	—	1	—	ХМ	СВ, ЗА ПВО
Портативный наблюдательный прибор «Галиоп»	—	—	—	7	6	3	8	8—13	КРТ	—	—	—	ХМ	ВВС (вертолеты и самолеты), ВМС
Наблюдательный портативный прибор IRGO в монокулярном и бинокулярном исполнении	1000	—	—	—	8,7 5,8	5,85 3,9	2,5	3—5	КРТ	—	—	—	ТЭО	СВ (разведка), ВВС
Наблюдательный прибор — прицел «Венус»	4000 (5000) (>4000)	2000 (4000) (3000)	—	—	11,4 2,7 8,1	5,7 1,35 5,4	90	8—14	КРТ	—	—	—	—	ВВС (боевые вертолеты ФРГ и Франции)

Продолжение табл. 5.2

Наименование (шифр) прибора	Дальность, м			Увеличение, крат	Поле зрения, град		Масса, кг	Рабочий диапазон, мкм	Фотоприемник		Разрешение		Способ охлаждения	Применение
	обнаружения	опознавания	идентификации		по горизонтали	по вертикали			материал	число	угловое, мрад	температурное, °С		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Наблюдательный прибор — прицел «Гектор»	4000	2000	—	—	10,8 2,8	6,2 1,6	—	8—13	КРТ	—	—	—	ГБ	ВВС (вертолет «Дофин»), ПТУР «Хот»
Италия														
Переносной наблюдательный прибор — прицел VTG-120	3000	2500	—	4 12	6,8 2,8	3,4 1,4	12	8—13	КРТ	60	0,5 0,16	—	ГБ	СВ, ПТУР TOW
Наблюдательный прибор — прицел ПС 82	18 км 16 км 6 км	— — —	Фрегат Самолет Надводные цели	—	5,6	2,3	80	8—14	КРТ	100	0,25	0,2	—	ВМС, датчик в СУО ММ-59
Морская камера OG 30A	—	—	—	—	6	3	—	8—14	КРТ	—	0,25	—	—	ВМС, интегрированная система с ТВ и ЛД
Морская камера OG 30B	—	—	—	—	—	—	65	8—14	КРТ	—	0,25	—	—	То же (состоит на вооружении ВМС)

Израиль														
Прицел — наблюдательный прибор TD 22	6500 2000	2000 1500	Танк Пехота	—	—	—	9,5	3—5	Индий—сурьма	100	—	—	ГБ	СВ, БТТ
Нидерланды														
Многоцелевой наблюдательный и разведывательный прибор с ЛД — «Самтор»	6—8 км 2,5 км	1800 1000	Танк Пехота	—	12 4 2	5,1 1,7 0,85	—	7,5—11,5	КРТ	—	3	—	ХМ	СВ
Прицел — наблюдательный прибор UA9090	—	—	—	—	15 5	5 3	—	8—12	Спрайт		—	—	ХМ	СВ, танки «Валиант», «Леопард 1» и «Леопард 2»
Норвегия														
Наблюдательный прибор ТС-10	19 км (обнаружение малоразмерных целей при видимости 2—3 км)			—	3	1	8	8—12	—	—	0,25	0,02	ГБ	ВМС, СУО морской и береговой артиллерии
ФРГ														
RZ1001 — многоцелевой прибор наблюдения — прицел	—	—	—	—	13 5	6 4	—	8—12	КРТ	100	0,2	—	ГБ	СВ, БТТ, ВВС (вертолеты АН-64А и НАС/РАН-2)

Окончание табл. 5.2

Наименование (шифр) прибора	Дальность, м			Увеличение, крат	Поле зрения, град		Масса, кг	Рабочий диапазон, мкм	Фотоприемник		Разрешение		Способ охлаждения	Применение
	обнаружения	опознавания	идентификации		по горизонтали	по вертикали			материал	число	угловое, мрад	температурное, °С		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Интегрированная система СУО и наведения в составе ЛД на CO_2, ТВП и ИК-наведения OFRIS	—	—	—	1,5 6 12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	СВ, танк «Гепард», танки 90-х годов, ЗРК «Роланд»
Швеция														
Многоцелевой прибор для систем управления огнем ETI	—	—	—	—	4 2	2,6 1,3	—	8—14	Спрайт		—	—	ХМ	СВ, ВМС, ВВС
Швейцария														
Многоцелевой прибор TISA	6200	1800	1000	2,7 6,7	5 2	2,7 1,1	16	3—5	—	48	0,5	0,2	ТЭО	СВ (пехота, артиллерия, БТТ), береговая охрана, полиция

	СФРЮ															
11*	Наблюдательный прибор — прицел TS-M	3000	1800	—	9,5	3,5	2	10	—	КРТ	—	—	—	—	СВ, ПТУР

чего в приборах и применяется модуляция потока излучения. Поэтому пироэлектрические ПНВ используются чаще всего в системах защиты от внезапного вторжения.

Тактико-технические характеристики различных образцов тепловизоров зарубежных стран приведены в табл. 5.2. Так как сведения о дальности действия приборов в большинстве случаев не содержат данных о характере наблюдаемого объекта, то указанные в табл. 5.2 величины являются ориентировочными, хотя в общем-то дают некоторую информацию о наблюдаемом объекте. Так, тепловизионные приборы для танков, действующие, как правило, против танков противника, должны характеризоваться дальностью обнаружения и опознавания танка противника, это же относится и к ТВП, которые действуют в комплексе с ПТУР. Легкие разведывательные приборы передовых пунктов наблюдения предназначены, как правило, для регистрации передвижения пехоты. Дальность опознавания бронированной цели является весьма важной характеристикой, так как именно она дает возможность осуществить правильный выбор боеприпаса.

5.6. Перспективы улучшения ТТХ тепловизионных приборов

Одной из причин, вызывающих необходимость улучшения ТТХ тепловизионных приборов, является появление новых ПТУР с увеличенной дальностью стрельбы для борьбы с танками на дальних подступах вне пределов досягаемости танковой артиллерии. Рассматривая возможные пути улучшения характеристик тепловизоров, одни называют уменьшение размеров чувствительных площадок фотоприемников, другие — необходимость цифровой обработки сигналов с целью получения максимального объема информации. По мнению западногерманского специалиста в области тепловидения Манфреда Хартля, повышение пространственного разрешения за счет уменьшения размеров детекторных элементов повлечет за собой соответственное уменьшение яркости и контраста изображения цели, что приведет к потере дальности опознавания.

Другой специалист — Альфонсо Фонтао высказывает мнение, что в ближайшее время нельзя рассчитывать на уменьшение размеров детекторов для повышения их числа, для того чтобы исключить механическую систему сканирования, которую также рассматривают как недоста-

ток тепловидения вообще. Хотя существующие тепловизионные системы с бóльшим успехом, чем другие оптико-электронные приборы, обнаруживают тактические цели в сложных условиях видимости и маскировки, все же и они не в состоянии решать задачи по опознаванию, что затрудняет принятие командиром решения об уничтожении цели. Предполагают, что решение этой задачи значительно продвинется с изучением тепловой сигнатуры (характерного распределения холодных и теплых мест) танков противника и ее вводом в цифровой код цели для автоматического слежения за ней. Но пока одним из способов увеличения информации об объекте наблюдения считается цифровая обработка сигнала.

Нидерландская фирма «Олдельфт» считает, что благодаря цифровой обработке и улучшению блока развертки качество изображения при наблюдении в прибор с 60-элементным приемником равноценно изображению, полученному с помощью прибора со 120-элементным приемником. Цифровую обработку применяют и шведские фирмы, производящие ТВ-аппаратуру, для адаптации соотношения яркость/контраст, обеспечивающего различение целей на пестрых фонах. Фирма EMI (Великобритания) также уделяет большое внимание вопросам цифровой обработки.

Дальнейшее совершенствование и развитие модульных систем, по мнению Манфреда Хартля, должно учитывать необходимость сохранения двух основных принципов стандартизации в «Общих модулях» — общности и взаимозаменяемости. Количество блоков и их расположение должны оставаться неизменными.

Повышение информативности систем наблюдения и увеличение дальности их действия должны основываться не только на повышении ТТХ тепловизоров, но и на их использовании в интегрированных системах с применением РЛС миллиметрового диапазона для образования многоспектральных разведывательных систем. При этом особое внимание обращается на исследование воздействия атмосферных условий и их отдельных факторов, изучение характеристик целей во всех спектральных областях приборов разведки, в том числе и лазерных локаторов, а также способов визуализации изображения в невидимом диапазоне спектра электромагнитного излучения, воспроизведение цветного изображения. При этом остается еще не решенной задача по созданию тепловизионной аппаратуры III поколения, запланированная на 80-е, но из-за сложности реализации отнесенная на 90-е годы.

Ближайшими задачами европейского тепловидения зарубежные специалисты считают создание фотоприемников с большим числом чувствительных элементов с одновременной обработкой снимаемых с них сигналов интегрированными ПЗС, что является движением вперед к новому поколению ТВП, и дальнейшее улучшение Спрайт-технологии в качестве второго пути.

5.7. Новое направление в тепловидении

После завершения работ по созданию фотокатода на арсениде галлия и отработке технологии его производства для нового, III поколения ПНВ вопрос о дальнейших исследованиях с целью реализации IV поколения ПНВ зарубежными специалистами не ставится.

Новые ПНВ III поколения позволили увеличить дальность действия в ночное время на 30% по сравнению с ПНВ II поколения на усилителях с МКП, обеспечив тем самым решение тактических задач разведки целей и ведения по ним огня с той же эффективностью, что и днем. Однако высокая стоимость новых ПНВ значительно охладила стремление военных кругов США в оснащении армии новыми приборами. Как отмечает зарубежная пресса, «...большинство пользователей продолжают отказываться от дорогостоящих новых ночных прицелов (4500—6000 долларов), в особенности, когда их устанавливают на оружие стоимостью 300(!) долларов...» *.

Тем не менее военно-промышленные круги Великобритании, учитывая опыт, приобретенный в военной конфронтации с Аргентиной, считают целесообразным оснащение армии ночными прицелами и очками III поколения. Фолклендскую операцию, конечной задачей которой был захват британскими войсками прочного плацдарма для наступления на Порт Стенли, планировалось провести ночью в плохих погодных условиях, с тем чтобы избежать больших потерь. Тщательно подготовленная ночная операция предусматривала максимальное использование приборов ночного видения с УЯИ и тепловизионных приборов, в том числе приборов, находившихся в стадии оценочных испытаний и даже лабораторных образцов.

Как отмечала впоследствии пресса, качество работы и надежность компактных автономных систем ПНВ были удовлетворительными. Однако системы тепловидения вы-

---

* International Defense Review. 1987. V. 21. No. 8. P. 1102.

звали некоторые проблемы, в основном из-за отсутствия газовых баллонов для охлаждения фотоприемников. Кроме того, было отмечено загрязнение криостатной системы после смены баллонов. Очевидно, что опыт этого конфликта должен дать дополнительный толчок для совершенствования тепловизионных приборов по пути применения термоэлектрических охладителей.

В настоящее время на вооружении армий США, Великобритании, ФРГ, Франции и других стран состоит около двух десятков образцов тепловизионных приборов, использующих для охлаждения фотоприемников термоэлектрические холодильники, рассчитанные на температуру 195—200 К. Однако эти приборы, разработанные в 70-е годы и применявшиеся американской армией во Вьетнаме, уже устарели, хотя еще и выпускаются промышленностью Запада. Их применение ограничено функциями полиции и охраны.

Между тем массогабаритные характеристики этой аппаратуры по сравнению с тепловизионными приборами, требующими глубокого охлаждения, могут рассматриваться как перспектива создания прицелов для ручного оружия, так необходимых для решения тактических задач в условиях ограниченной видимости. Действительно, тепловизионная техника, обеспечивающая разведку целей в условиях плохой видимости днем и ночью, является в настоящее время единственным средством, способным повысить эффективность боевых действий в решении тактических задач, так как возможности ПНВ всех поколений в значительной степени определяются уровнем освещенности и прозрачностью атмосферы. При этом зависимость дальности от освещенности носит двоякий характер: в условиях ЕНО (ниже 10^{-3} лк) дальность наблюдения в ПНВ резко уменьшается, а при резком увеличении освещенности в условиях спорадических вспышек, вызванных огневыми средствами, ПНВ с УЯИ ухудшают свои качества, несмотря на устройства автоматической регулировки усиления.

Тепловизионные приборы свободны от этих недостатков, поэтому их использование в качестве прицелов к тактическому оружию, по мнению зарубежных специалистов, является предпочтительным, тем более что они обеспечивают решение боевой задачи в течение суток, а не только ночью, как ПНВ.

Однако тепловизионные приборы, входящие в состав модульных систем СМ, SMT и TICM, не могут использоваться в качестве прицелов к стрелковому оружию и сред-

ствам ближнего боя из-за значительных габаритных размеров и массы, превосходящих аналогичные параметры оружия, хотя рабочий диапазон 8—14 мкм является наиболее приемлемым с точки зрения обнаружения слабонагретых целей, к каким относятся танки и пехота.

Учтя уроки Фолклендской войны, ведущие фирмы Великобритании и США разработали неохлаждаемые или работающие при комнатной температуре матрицы ИК-детекторов, пригодные для создания тепловизионных прицелов к стрелковому оружию (так называемые матрицы с «острым зрением»). Применение новых матриц позволило значительно сократить степень охлаждения, а в некоторых конструкциях прицелов вообще отказаться от него. Таким образом, появилась возможность разработки прицелов массой, заданной исследовательскими организациями армии США, — 1,8 кг (4 фунта), доступных серийному производству стоимостью, сравнимой со стоимостью ПНВ III поколения.

В интересах СВ армии США Центр разработки ПНВ и ТВП провел испытания прототипа тепловизионного прицела SRTS (Short Range Thermal Sight) ближнего действия с исследованием эффективности его работы в двух ИК-диапазонах (3—5 и 8—12 мкм). В конкурсной работе по созданию прицела SRTS приняли участие следующие фирмы США — пионеры американского тепловидения: «Техас Инструментс», «Хонеуэлл» и «Магнавокс».

Прицел фирмы «Техас Инструмéнтс» (рис. 76) имеет минимальную массу — 1,6 кг (по другим данным, 1,71 кг). Его рабочий диапазон обеспечивается фотоприемником,

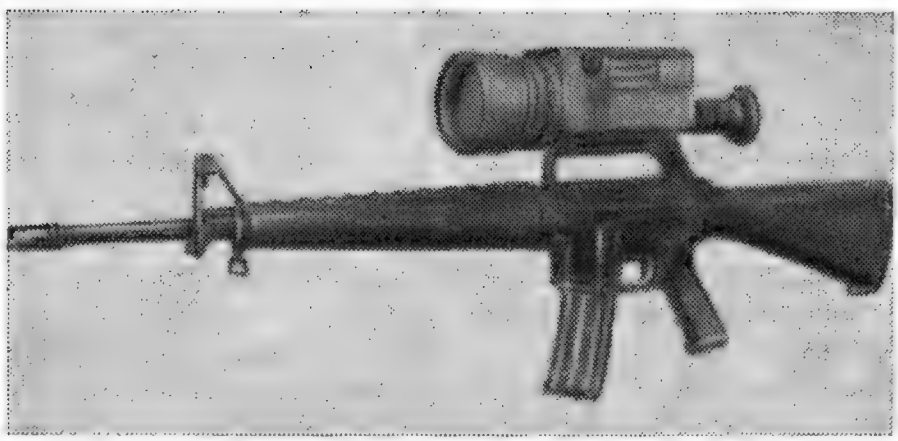


Рис. 76. Тепловизионный прицел SRTS фирмы «Техас Инструментс», действующий в диапазоне 3,7—5 мкм

представляющим собой диэлектрический болометр, охлаждаемый однокаскадным термоэлектрическим холодильником в целях стабилизации температуры детекторной матрицы в соответствии с изменениями температуры окружающего пространства. Модуль фотоприемника в этом прицеле имеет объем 331 $см^3$ и потребляет мощность 4 Вт. Прицел состоит из 64 деталей, из них только две движущиеся (сборка прерывателя). Ресурс работы источника тока — литиевой батареи — 4 ч. Выход на рабочий режим 10 с. Его рабочий диапазон 8—12 мкм.

Работающий в том же спектральном диапазоне прицел фирмы «Хонеуэлл» использует в качестве фотоприемника неохлаждаемую мозаичную матрицу из пироэлектрического материала, связанную с кремниевой подложкой, несущей в себе элементы обработки сигналов (рис. 77).

Рис. 77. Тепловизионный прицел SRTS фирмы «Хонеуэлл», действующий в диапазоне 8—12 мкм

Третий вариант прицела SRTS фирмы «Магнавокс» с термоэлектрическим холодильником действует в спектральном диапазоне 3—5 мкм. Фотоприемник этого прибора выполнен в виде вертикальной детекторной линейки, состоящей из 64 элементов селенида свинца — PbSe, применяемого в ТВП такого типа. Сигналы, полученные в результате сканирования картины, следуют в предусилитель, а затем объединяются в единый видеосигнал, который усиливается и поступает на миниатюрную ЭЛТ. Время непрерывной работы этого прицела от стандартной литиевой батареи 10 ч. Габаритные размеры прицела (300×86× ×102 мм) и масса (около 1,8 кг) находятся в пределах ПНВ I поколения с трехкамерными трубками (рис. 78).

Все три образца прибора прошли испытания в форте Беннингс (штат Джорджия). Полномасштабные разработки образцов прицелов начались в 1988 г. В случае успеха предполагается заказать 63 000 прицелов конструкции, победившей в конкурсных испытаниях, и начать поставку нового прицела в армию в 90-е годы.

Рис. 78. Тепловизионный прицел SPTS фирмы «Магнавокс» на 5,56-мм винтовке M16, действующий в диапазоне 3—5 мкм

Аналогичный по принципу построения наблюдательный прибор разработан фирмой SAT во Франции под сокращенным названием IRGO (Infrared Goggles Observation). Создание этого прибора является шагом вперед к реализации предусмотренного французской модульной системой тепловизионного бинокля.

Прибор IRGO обеспечивает воспроизведение тепловизионного изображения с четкостью 120 строк при 200 элементах разложения в строке с частотой сканирования 25 Гц. Цель отображается на экране, представляющем собой матрицу из желтых светодиодов. Мощность, потребляемая прибором, 10 Вт. Масса прибора 2,9 кг без батареи питания. Если предположить, что в качестве источника тока применяется батарея из литиевых элементов, рассчитанная по емкости на работу в течение 4 ч, то ее масса составит около 1 кг, тогда масса IRGO будет около 4 кг. Это несколько не соответствует привычному понятию «очки», хотя такая характеристика, как дальность действия >1 км для тепловизионного прибора, действующего в условиях ограниченной видимости днем и ночью, не так уж мала,

тем более что в качестве цели называется танк, различимость которого в лобовой проекции на пестрых фонах невелика. Общий вид прибора IRGO показан на рис. 79.

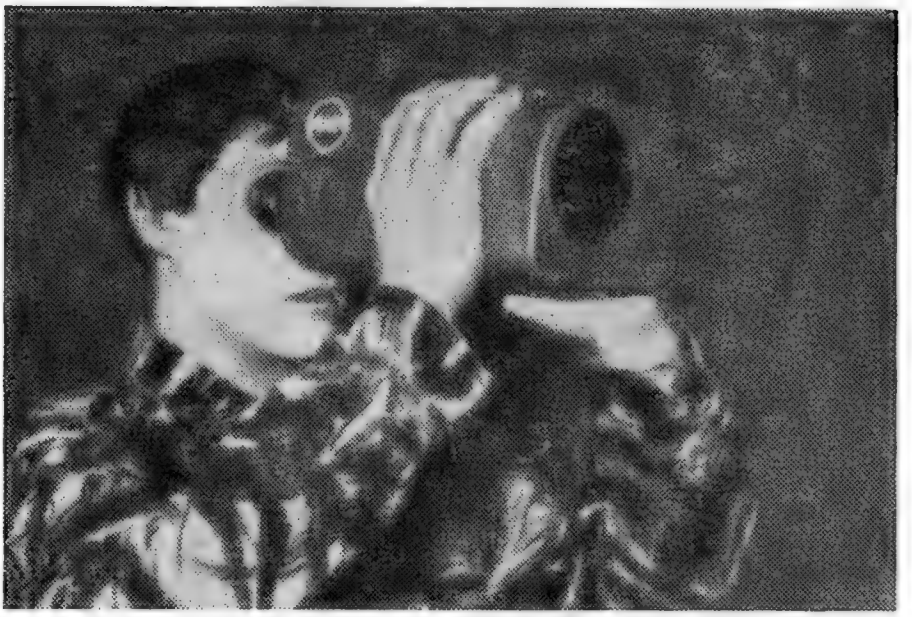


Рис. 79. Ручной наблюдательный прибор IRGO, действующий в диапазоне 3—5 мкм (Франция)

Сообщается о поддержке французским командованием намерения фирмы SAT разработать бинокулярный прибор (очки) IRGO с тем же фотоприемником, что и в монокулярном приборе, — КРТ и с той же системой охлаждения — ТЭО на эффекте Пельтье до температуры 230 К вместо 77 К, принятой для фотоприемников КРТ в других тепловизионных приборах. Масса тепловизионных очков задана 2,5 кг, дальность наблюдения танка 1000 м.

Аналогичный прибор разрабатывается этой же фирмой для управляемых ракет земля — воздух «Мистраль».

Интенсивные работы по созданию тепловизионных приборов с умеренным охлаждением или совсем без охлаждения свидетельствуют о стремлении к максимальному упрощению конструкции таких приборов, действующих в условиях ограниченной видимости, с целью их распространения во все рода войск, и в первую очередь в пехоту.

5.8. Применение тепловизионных приборов

На рис. 80 показано принципиально возможное применение тепловизионных приборов в военной технике СВ: боевых машинах, зенитных установках, боевых вертолетах и

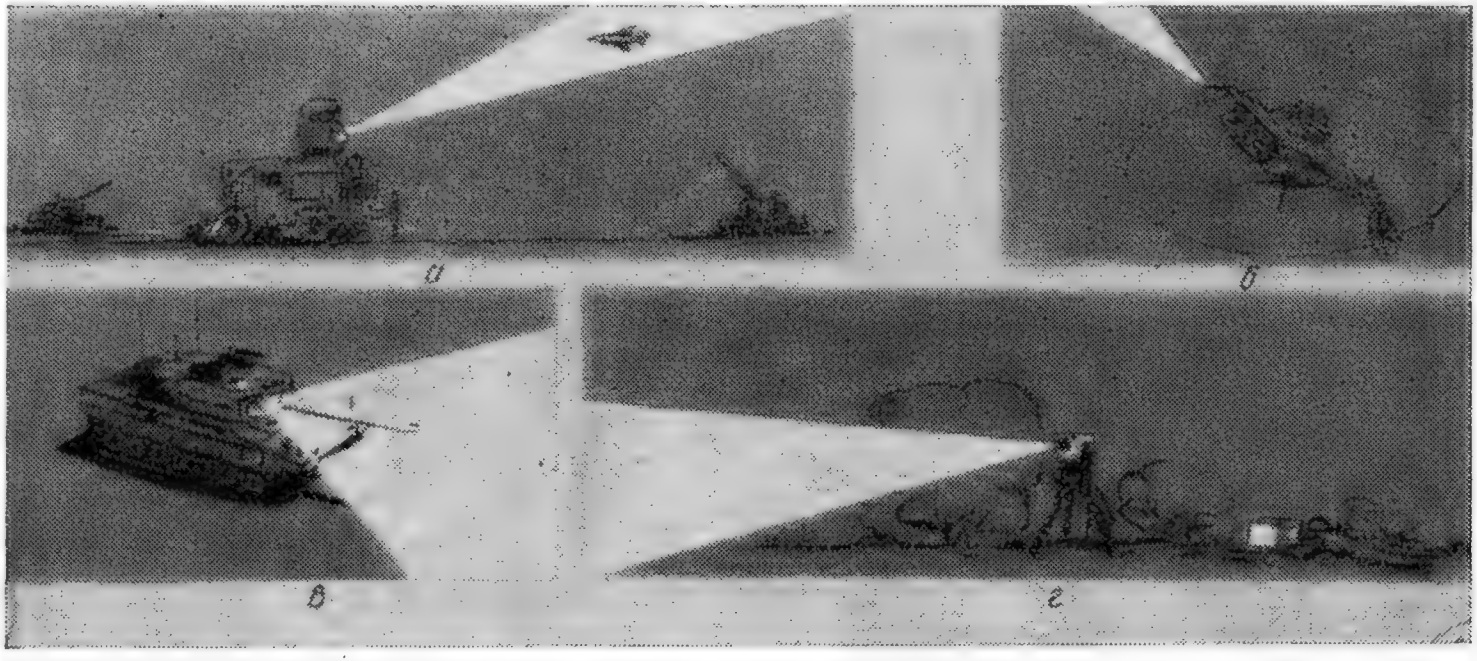


Рис. 80. Области принципиально возможного применения тепловизионных приборов в боевой технике сухопутных войск:

а — тепловизионный прибор в системах радиолокационного обнаружения и сопровождения воздушных целей; *б* — разведка местности и целей и ведение стрельбы УРС; *в* — ориентирование на местности, наблюдение целей и ведение прицельного огня ночью и при ограниченной видимости; *г* — наблюдение целей в интегрированных системах разведки и управления огнем артиллерии и минометов

системах разведки. Тактико-технические характеристики некоторых приборов, состоящих на вооружении и производстве стран НАТО, приведены в табл. 5.2, из которой следует, что в основном ТВП решают задачу «Дальность действия ночью равна дальности действия днем», причем эти приборы обеспечивают наблюдение при плохой видимости и при использовании противником средств маскировки и пассивных помех, что не под силу оптическим приборам.

Тепловизионными приборами оснащаются:

в сухопутных войсках:

танки, боевые машины пехоты, боевые разведывательные машины, истребители танков с пушечным и ракетным вооружением;

транспортируемые и мобильные установки ПТУР;

боевые вертолеты для разведки наземных целей и наведения на них ПТУР;

подразделения разведки и передовые наблюдатели пехотных подразделений;

в авиации — самолетные системы разведки, в том числе морской авиации;

в военно-морском флоте — корабельные системы управления огнем и перископы подводных лодок.

Многие из перечисленных выше ТВП комплексируются с другими техническими средствами разведки и наблюдения: с оптическими (дневными) приборами, телевизионными системами и, конечно, с лазерными дальномерами. Последние, будучи активным средством, в известной степени демаскируют боевые порядки своих войск, но, учитывая кратковременность действия и ущерб, который они могут нанести электронно-оптическим средствам противника в случае попадания лазерного излучения на чувствительные элементы приборов, риск их применения можно оправдать.

Большое внимание уделяется развитию лазерной дальнометрии в области длин волн тепловизионного диапазона, а также построению систем видения в условиях плохой видимости, вызванной погодными условиями или использованием противником средств маскировки. Такие работы начаты западногерманской фирмой «Эльтро» в области лазерных систем видения, а также фирмой «Эйвионикс ГЭК» по созданию активной видеосистемы ТВП — лазерного дальномера на CO_2 для британских танков «Чифтен» и «Челленджер» в системе ТОГС. При разработке системы III поколения противотанкового вооружения «Тригат» консорциум фирм Великобритании, Франции и Западной

Германии разработал тепловизионную систему «Кондор I» с лазерным дальномером на CO_2. Таким образом, процесс внедрения лазерного дальномера с тепловизионным прицелом в СУО танков, по-видимому, прошел первоначальную стадию и, несмотря на технические трудности, продолжает развиваться.

Об использовании тепловизионной техники в ВМС сообщается немного, хотя применение тепловизионных приборов в корабельной и береговой службе было предусмотрено в модульных системах Франции и Великобритании.

В годы развития приборов ночного видения интегрированные системы ПНВ с лазерными дальномерами с длиной волны 1,06 мкм применялись в перископах CH84 атакующих ПЛ «Трафальгар», а с появлением тепловидения были оснащены телевизионными и тепловизионными датчиками системы СУО. По сообщениям печати, приборы наблюдения при увеличении 1,5 и 6× имеют довольно широкое поле зрения (32×8 град) при наличии фильтров защиты от лазерного излучения. Интересны габаритные размеры такого перископа: общая длина 13,5 м, максимальный диаметр основной трубы 254 мм и в топовой части 70 мм. Для тепловизионного датчика имеется окно, выполненное из германия диаметром 110 мм. Все приборы изготовлены фирмой «Барр энд Страуд».

Другая система ночного видения — IRCOM дает возможность ночного наблюдения морской цели типа «фрегат» на удалении 5—7 км при максимальной дальности действия 11 км. Система ночного видения, состоящая из ПНВ и ТВП, обеспечивает наблюдение в угле зрения 22 град при увеличении 1,4×.

Фирмы США, по неполным данным, разработали в интересах ВМС миниатюрный ТВП-прицел «Дарк Айс» для перископов ПЛ и индикатор направления химического оружия (облака) AN/KAS-1.

Фирмы Франции, выпускающие тепловизоры, используют в системах, предназначаемых для корабельных СУО, CT 11 в качестве фотоприемника линейку из 96 элементов КРТ, а в системах CT 12 и CT 13 — из 128 элементов. Последние модели морских камер CT 14 и CT 15 корабельных СУО оснащаются замкнутой системой охлаждения и электронными блоками памяти. Тепловизионный прибор CT 10 размещается в перископе атомных ПЛ SNLE и SNA.

Итальянский ТВП NC82 используется в системе датчиков итальянских ВМС и обеспечивает обнаружение морских целей на дальности 18 км (типа «фрегат»).

Голландская фирма «Филипс» разработала ТВП UA9059 для использования в разведывательных морских системах «Ирскэн» в диапазоне 3—5 и 8—14 мкм, а также камеру для перископа ПЛ диаметром 190 мм. В интегрированной РЛС используется ТВП UA7011 с углом обзора ±120 град по горизонту и +23 — минус 13 град по вертикали.

ВМС Великобритании располагают в перископе CH84 ПЛ RN2400 окно из германия для ТВП V3800 с полем зрения 12×3 град. Аналогичный прибор создан для корветов Бразилии фирмой «Ферранти».

Норвежская фирма «Симрад», известная своими лазерными дальномерами, изготавливает ТВП для береговой и морской артиллерии, монтируемый на стабилизированной платформе ТС-10. Этот тепловизор обеспечивает ведение прицельного огня артиллерией на дальности от 2—3 до 19 км по малоразмерным целям с разрешением по температуре 0,08° (по сухопутным) и 0,03° (по морским) целям.

В авиации тепловизионная техника появилась значительно раньше, чем в сухопутных войсках и в ВМС. Первые тепловизионные системы наблюдения с воздуха оснащались системой сканирования местности и целей с воздушного носителя линейкой фотоприемников по строке и движением самого носителя по кадру с радиотехнической и радиолокационной привязкой положения носителя относительно местности, над которой он пролетает.

Современный тепловизионный прибор для авиации — «Флир» (FLIR — Forward Looking Infrared) представляет собой значительно более сложную, хотя и очень компактную систему переднего обзора, предназначаемую для разведки целей и в ряде случаев для ведения по ним стрельбы УРС и НУРС с самолетов и вертолетов, почему вертолеты называют иногда «летающими танками».

«Флир»-системы по номенклатуре вряд ли уступают наземным ТВП. В самом деле, если взять французскую модульную систему SMT, то окажется, что вертолетные приборы «Флир» относятся к сухопутным ТВП как 7 : 8!

Многоцелевым тепловизионным прибором на Спрайт-детекторе IR18 МкII помимо танков вооружаются также и боевые вертолеты. Имея широкое поле зрения — 38×25,5 град, незначительную мощность потребления — 32 Вт, этот тепловизор получил широкое распространение как в СВ, так и в авиации. Другой ТВП, также на Спрайт-детекто-

ре, — TICM II «Флир» устанавливается на самолете А7, но может применяться и на других самолетах. Входное отверстие германиевого объектива «Флир» 14 дюймов *. Состоит на вооружении британских ВВС. Возможно, объединяется с лазерным дальномером на CO_2 (тип 221 фирмы «Ферранти») или с дальномером ТЕА (тип 116) с дальностью действия 0,5—10 км.

Интернациональная система видения днем и ночью «Тригат», применяемая в ВМС, используется и для вооружения вертолетов, имеющих противотанковую систему оружия III поколения. Наличие лазерного дальномера на CO_2 делает СУО вертолета высокоэффективной.

Разработанный фирмой «Филипс» (Нидерланды) для отечественных и итальянских ВВС ТВП «Орфей» имеет 60-элементный фотоприемник и предназначается для прицела день/ночь.

Первая в мире система линейного сканирования «Флир» появилась в США в 1958 г. и просуществовала до 1964 г., когда была разработана современная система переднего обзора со сканированием в двух плоскостях. В соответствии с модульной системой СМ американские системы «Флир» используют параллельное сканирование фотоприемником, состоящим из 180 элементов КРТ с выходом на ТВ-дисплей. «Флир»-системы устанавливаются на вертолеты «Апаш», космические системы всех назначений, на самолеты F-18, а также используются в модифицированной системе «Лантирн», обеспечивающей круглосуточную работу самолетов F-16 и А-10, где система теплового ориентирования скомпонована на британской модульной системе TICM.

Элементы американской модульной системы были использованы для разработки аналогичных систем «Флир» для вертолетов: «Мини-Флир» для ДПЛА (дистанционно пилотируемый летательный аппарат) «Аквила РПВ»; вертолетной системы фирмы «Хьюз-Флир» для вертолета «Белл 2061» с полем зрения 30×40 град при 6× увеличении и других вертолетов и самолетов. Для системы «Флир» на вертолете АН-64 фирма «Хонеуэлл» разработала процессор для обнаружения целей, их опознавания и определения приоритета в принятии решений. Система АТР запоминает класс и местоположение каждой цели и направляет датчик на цель наивысшего авторитета, представляя пилоту информацию для принятия решения.

---

* 1 дюйм равен 25,4 мм

Авиационная система «Флир» используется в франко-германской разработке для вертолета НАС/РАН-2, при этом Франция ведет значительное число самостоятельных разработок, в том числе прицела «Портос» для стрельбы с вертолетов «Газель», и в дальнейшем для новейшего вертолета НАС. Для оснащения этих же вертолетов разрабатывается система «Флир Афродита» в стабилизированном корпусе диаметром 340 мм с углом обзора по горизонту ±40 град и по вертикали +30 — минус 90 град при общем разрешении 2 мрад.

ТВП «Гектор» для наведения ПТУР «Хот» с вертолета «Дофин» обеспечивает обнаружение целей на дальности 4000 м, а опознавание на дальности 2000 м. Примерно такими же характеристиками будет обладать ТВП «Калипсо» для вертолета BO 105, который имеет два сменных поля зрения: 8,1×5,4 град для обзора и обнаружения и 2,7×1,8 град (узкое поле зрения) для опознавания целей.

Последним достижением в области систем «Флир» является, по сообщениям зарубежной печати, легкая и компактная система «Микро Флир», разработанная фирмой JSG. «Микро Флир» представляет собой систему дневного и ночного видения (объединяет низкоуровневую ТВ-систему с системой «Флир») с минимальной разрешающей и шумовой разностью температур и с эффективной системой сканирования. Телескоп НУТВ и система «Флир» сориентированы со стабилизированной относительно одной или двух осей платформой. Основным узлом системы «Микро Флир» является компактный видеосканер, включающий вертикальное зеркало и горизонтальный сканирующий диск, коническое и плоское охватывающее (складывающееся) зеркала и параболическое и сферическое главные зеркала, причем последнее с интегрированной (встроенной) поверхностью сборки. Сканер обеспечивает 92-процентную эффективность сканирования в вертикальной плоскости и 100-процентную — в горизонтальной.

К высокоэффективным системам ночного видения относят систему «Лантирн» американской фирмы «Мартин Мариетта», содержащую навигационные датчики и датчики системы «Флир», размещаемые в отдельных блоках на самолетах тактического назначения. Высокая разрешающая способность «Флир» и широкое (28 град) поле зрения обеспечивают эффективность разведки как с больших, так и с малых высот. Блок поиска целей, установленный на гиростабилизированной платформе, позволяет осуществлять точное наведение и сопровождение неподвижных

и движущихся целей. Навигационный блок системы обеспечивает изменение поля зрения в зависимости от того, каким дисплеем пользуется пилот во время засечки цели — нашлемным или нижним. Этот же блок имеет РЛС для определения рельефа местности в дополнение к навигации, осуществляемой прибором «Флир».

Новостью в зарубежной технике тепловидения является попытка разработать прибор для разведки минных полей с самолета — AMIDARS (Airborne Minefield Detection and Roconnaissance System), который будет устанавливаться на самолете в качестве бортовой разведывательной системы.

Оценивая возможности тепловизионных систем и приборов, следует иметь в виду, что их высокие характеристики не являются предельными по информативности, так как представлены лишь неполными двумя поколениями тепловизоров, которым предстоит дальнейшее совершенствование. На рис. 81 представлена типичная для тепловизионного изображения картина распределения теплых (светлых) и холодных (темных) мест объекта наблюдения. В дождь тепловой контраст значительно уменьшается, по-

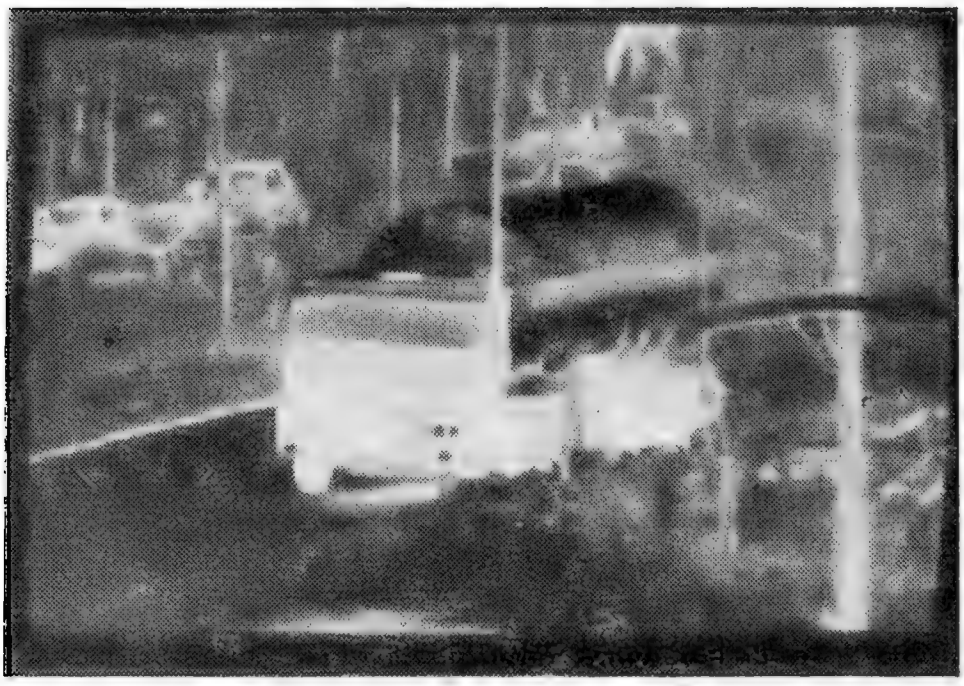


Рис. 81. Тепловизионное изображение с характерным распределением теплых и холодных мест, позволяющим определять характер цели на больших дальностях, когда размер цели мал

этому видимость цели в тепловизионный прицел существенно ухудшается.

Тепловизионные приборы, несмотря на их громоздкость, размещаются, как правило, внутри танков и боевых машин, однако тепловизионный прицел танка AMX-30B2 французской армии устанавливается на самой высокой точке башни, а изображение местности и целей наблюдается экипажем на видеомониторах, размещенных на местах боевого расчета. При этом разрешение элементов картины не хуже 0,2 мрад.

Концепция установки систем ночного видения вне боевой машины находит последователей в Италии, где фирмой «Селения» разработан вариант тепловизионного канала прибора VIR-7 с установкой на машине сбоку. Такое же решение предполагается осуществить и в новой машине VCC80.

В перспективных разработках танков установка артиллерийских орудий и оптико-электронных датчиков (НУТВ и тепловизионных систем) предполагается на наивысших точках боевых машин с целью обеспечения лучшего обзора поля боя. При этом боевой расчет будет размещаться в нижней части машин, где броневая защита наиболее надежна.

Так, французская фирма «Сфим» намечает при модернизации танка M1 установить гиростабилизированный тепловизионный прицел VS-580-30 слева на крыше башни перед местом заряжающего, чтобы обеспечить возможность обнаружения танков противника на дальности 6 км, пехоты 2—3,5 км, вертолета — 6,5 км и самолета — 9,5—12,5 км.

В комплект системы VS-580-30 помимо тепловизионного прибора входит дневной канал, автоматическая система слежения с встроенной прицельной маркой, лазерный или оптический дальномер.

6. СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫМ ПРИБОРАМ И СИСТЕМАМ

6.1. Разведка активных приборов ночного видения и лазерных средств подсветки и дальнометрирования

С появлением активных ПНВ, использующих принцип облучения цели ИК-прожекторами, сразу же возник вопрос о способах их обнаружения и ведения по ним прицельного огня для уничтожения и дезорганизации системы ночного наблюдения противника.

Естественно, первый предложенный способ заключался в использовании собственных ПНВ в пассивном режиме наблюдения для разведки ИК-прожекторов противника, работающих в режиме активной подсветки. Так как конструкция такого прибора не представляла сложности в разработке и изготовлении, армия США в довольно короткий срок была вооружена простейшими приборами с однокамерным ЭОП, что обеспечило возможность разведки ИК-прожекторов на дальностях, значительно превышающих действительную дальность подсветки самих активных ПНВ противника.

Другой, еще более простой способ заключался в использовании датчика, основанного на эффекте свечения возбужденного ультрафиолетом фосфорного экрана при попадании на его поверхность сконцентрированного линзой пучка излучения ИК-прожектора. Прибор, получивший название метаскопа, обеспечивал наблюдение танкового ИК-прожектора с осевой силой света около 10^6 кд на дальности 3—5 км, а прожектора ИК-прицела к стрелковому оружию с осевой силой света $3 \cdot 10^4$ кд на дальности около 1 км.

С появлением лазеров и разработкой на их основе различных дальномеров и целеуказателей понадобились приборы оповещения при лазерном облучении. Так, норвеж-

ская фирма «Симрад» (выпускающая лазерные дальномеры) предложила прибор, сигнализирующий об облучении объектов лазерными дальномерами и целеуказателями. Прибор, получивший сокращенное наименование RLI, позволяет обнаруживать лазерное облучение в спектральном диапазоне от 0,66 до 1,1 мкм, т. е. практически все наиболее распространенные и применяемые в военной технике лазеры: на рубине с длиной волны 0,69 мкм, на арсениде галлия — 0,84—0,89 мкм, на стекле с неодимом и алюмоиттриевом гранате — 1,06 мкм, широко применяемые в дальномерах и целеуказателях наземных и воздушных средств разведки и наведения боеприпасов.

Прибор RLI состоит из оптического детектора и блока индикации (рис. 82). Детекторная головка, устанавливаемая на крыше боевой машины, обеспечивает круговой обзор пятью фотоприемниками излучения с полем зрения 135 град каждый. Четыре приемника обеспечивают круговой (с перекрытием) обзор в горизонтальной плоскости, а

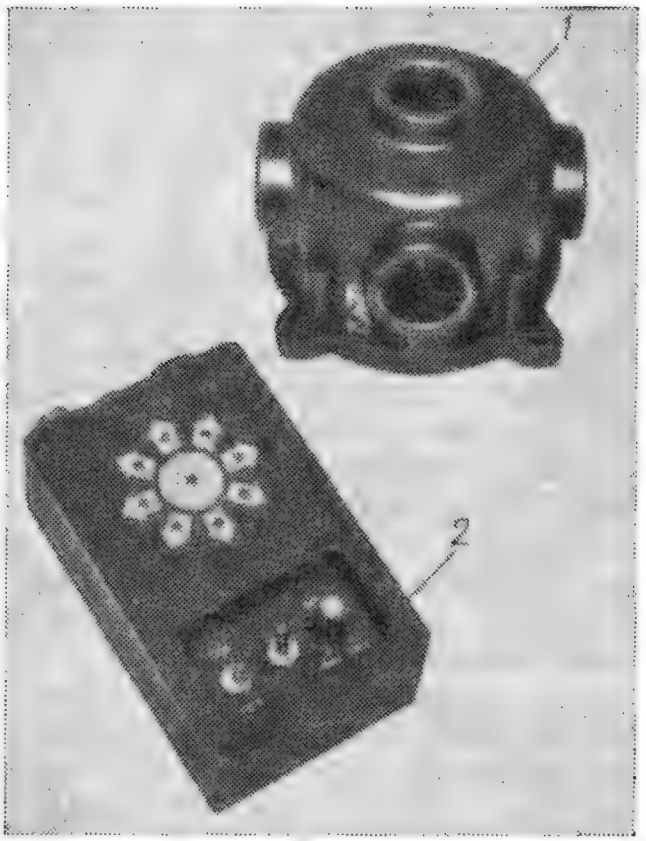


Рис. 82. Сигнализатор лазерного облучения фирмы «Симрад»:
1 — оптический детектор; *2* — блок индикации

пятый — в верхней полусфере. Фотоприемники связаны пятью электронными усилителями с пороговыми детекторами. Преобразователь-передатчик прибора осуществляет преобразование параллельного потока пятиразрядных цифровых данных в последовательный и направляет его по проводам к блоку индикации, расположенному на рабочем месте оператора.

Блок индикации имеет преобразователь последовательного потока данных в параллельный — в дешифратор и дисплей. Примерное направление на источник излучения определяется с помощью 8 светодиодов, расположенных по окружности и образующих 8 сорокапятиградусных секторов. Девятый (центральный) светодиод отображает обстановку в верхней полусфере. Индикатор имеет ручную регулировку яркости. Прибор снабжен акустическим устройством, подающим звуковой сигнал тревоги длительностью 1 с при обнаружении облучающего машину лазерного импульса. В случае последовательных лазерных импульсов или серий импульсов звуковой сигнал подается в течение всего временного интервала их регистрации.

Фирма «Фэрчайлд» разработала для армии США другой прибор для регистрации лазерного излучения, рассеянного в атмосфере, и в целях предупреждения о применении противником лазерных средств наведения боеприпасов в данном районе. Прибор, получивший название LAHAWS (Laser Homing and Warning Systems), состоит из детектора лазерного облучения и сигнального блока тревоги со звуковой и световой сигнализацией. Предполагается, что оснащение таким прибором хотя бы одного танка будет достаточным для танкового подразделения.

Компактный прибор MIRA (Miniature Infrared Alarm) предназначен для оповещения пехотинца об облучении его ИК-прожектором противника. Он представляет собой небольшой датчик, укрепленный на каске пехотинца, со звуковым индикатором, расположенным за ухом. Прибор сигнализирует о характере облучения — импульсном или непрерывном, а также о направлении на источник излучения с точностью, достаточной для ориентирования. Масса прибора 0,45 кг, диапазон принимаемого излучения 1—12 мкм.

В войсках бундесвера для разведки лазерных излучателей, действующих в диапазоне длин волн 0,4—1,1 мкм (1 модификация) и 1,1—2 мкм (2 модификация), применяется прибор COLDS (Common Opto-electronic Laser Detection System) обеспечивающий круговой обзор с вертикальным углом ±45 град.

Новый разработанный в Югославии прибор для разведки лазерных локаторов — лидаров, являющихся, по существу, радарами лазерного диапазона, — LIRD (Laser Irradiation Detector) предназначается для наземных боевых машин и кораблей ВМС. Прибор обнаруживает и отслеживает лазерное излучение лидаров в диапазоне 0,6—1,1 мкм с определением характера излучения и его источника (лазерный дальномер, лазерный излучатель подсветки, ИК-прожектор активного ПНВ, излучатель установки томоскопии). В состав аппаратуры «Лирд» входит головка с двенадцатью чувствительными приемниками — микродиодами, устанавливаемая в верхней точке машины с круговым обзором 360 град, а также один лавинный диод, обеспечивающий регистрацию непрямого падающего лазерного излучения с длиной волны 1,06 мкм (лазеры с активными элементами на стекле с неодимом или АИГ). Диаграмма направленности этого диода лежит в вертикальном конусе от минус 13 до минус 7 град в радиусе 20 м от датчиков и отслеживает узкий диапазон длин волн (1064 ± 1) нм.

Индикатор прибора разведки имеет 24 светодиода, связанные с датчиками через блок электроники и указывающие направление на излучатель в одном из 24 горизонтальных секторов, охватывающих 15 град каждый. Тип источника излучения — лазерный дальномер, целеуказатель или ИК-прожектор ПНВ — определяется с помощью трех светодиодов на панели индикатора. Аппаратура «Лирд» показана на рис. 83.

Сигнализатор, предупреждающий об ИК и лазерном облучении (разработан французской фирмой ТРТ), является наиболее универсальным из зарубежных приборов, предназначенных для решения этой задачи. Он устанавливается на боевой машине и позволяет обнаруживать как непрерывное, так и импульсное излучение в диапазоне от видимого до ближнего ИК-прожекторов, импульсных осветителей для томоскопии, импульсных лазерных дальномеров и целеуказателей. Сигнализатор содержит вращающуюся оптическую головку, блок электроники и блок управления и индикации. Он дает возможность определять направление на обнаруженный источник с точностью 15 град при круговом обзоре по азимуту.

Сигнализатор фирмы ТРТ позволяет обнаруживать одиночные импульсы и импульсы с малой частотой повторения как днем, так и ночью, а непрерывное излучение и импульсы с высокой частотой повторения — только ночью,

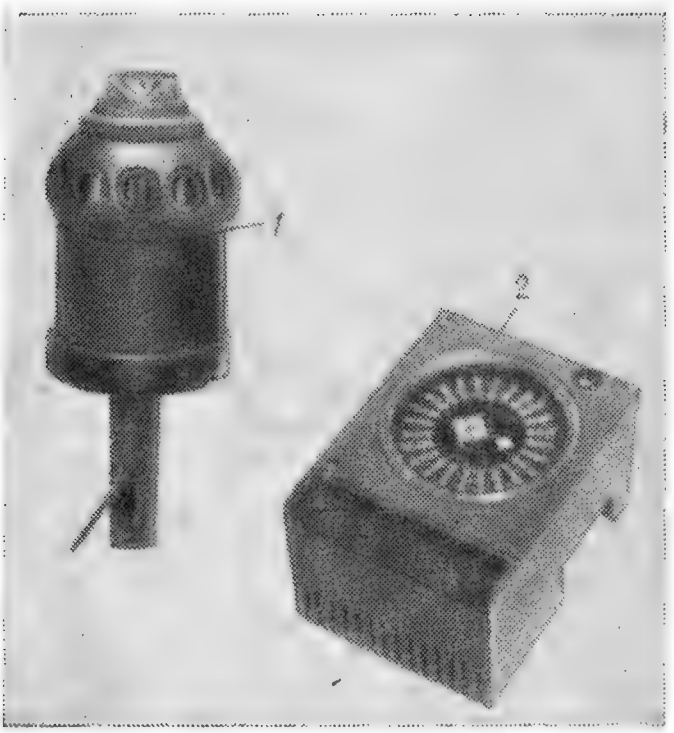


Рис. 83. Прибор для разведки лазерных локаторов («ЛИРД»):
1 — детекторная головка; *2* — блок индикации

при этом дальность обнаружения значительно превосходит дальность действия самого облучателя.

Оптическая головка прибора устанавливается на самой высокой точке машины с целью достижения максимального угла обзора. Блок индикации и управления размещается рядом с оператором.

Индикатор излучения содержит 12 желтых светодиодов, расположенных по кругу, на которые поступает информация о направлении на излучатель. Все 12 указателей направления охватывают 24 зоны обзора, каждая из которых занимает 15 град, что обеспечивает круговой обзор. При этом один светящийся указатель определяет соответствующую ему зону в 15 град, а два светящихся указателя определяют зону в 15 град, расположенную между ними. Индикатор имеет центральный красный указатель (без запоминающего устройства) ИК-облучения, желтый указатель вертикального направления (без запоминающего устройства), указатель с запоминающим устройством «Облучение лазером», указатели и переключатели «Включено — Выключено» для обнаружения ИК-прожекторов и лазеров, кнопку проверки указателей. Двенадцать указате-

лей направления снабжены запоминающим устройством, обеспечивающим автоматическое запоминание тех из них, которым при вращении оптической головки больше не соответствует направление на источник излучения, при этом сохраняются данные о направлении на эти источники.

Угол обзора оптической головки в горизонтальной плоскости составляет 360 град, в вертикальной — 90 град. Чувствительность в центре поля к излучению прожекторов с температурой накала ламп 2850 К без фильтра 0,075 лк, с фильтром — 0,3 лк. Чувствительность к лазерному излучению с длиной волны 1,06 и 0,69 мкм при длительности импульса 30 нс 10^{-2} Вт/см^2. Постоянная времени сигнализатора 0,1 с.

Дальность действия сигнализатора зависит от атмосферных условий, но, как правило, превосходит дальность действия обнаруживаемого излучателя. В табл. 6.1 приводятся характеристики сигнализатора по дальности обнаружения фар и ИК-прожекторов активных ПНВ нулевого поколения при различных коэффициентах прозрачности атмосферы.

Таблица 6.1

Дальность обнаружения фар и ИК-прожекторов активных ПНВ нулевого поколения

ИК-излучатель	Диаметр излучателя, мм	Осевая сила света, кд	Дальность обнаружения, м, при коэффициенте прозрачности атмосферы		
			1,0	0,5	0,3
Фара винтовочного прицела	Ок. 130	$1{,}8 \cdot 10^5$	760	600	560
ИК-прожектор пулеметного прицела	224	$5{,}5 \cdot 10^5$	1300	1000	820
ИК-прожектор танка	300	$1{,}2 \cdot 10^6$	1800	1250	1050
ИК-прожектор пушки	450	$2{,}5 \cdot 10^6$	2000	1600	1300

Аппаратура сигнализатора влагонепроницаема, вибропрочна и выдерживает транспортные перегрузки с ускорением 5—10g при частоте ударов до 150 Гц. Температурный диапазон работы аппаратуры от +50 до минус 40° С.

Диаметр оптической головки аппаратуры 470 мм, габаритные размеры блока управления и индикации составляют 326×238×138 и 156×238×60 мм соответственно, мас-

са — около 8 кг. Питание прибора осуществляется от бортовой сети напряжением 24 В.

Прибор, позволяющий вести разведку как ИК-излучения в диапазоне 0,66—1,1 мкм, так и излучения РЛС на частоте 6—16 ГГц, разработан в Великобритании и назван «Спасатель». Он чувствует облучение лазером или РЛС и дает мгновенный звуковой сигнал, предупреждающий экипаж о пуске противником ракеты или наведении орудия. Кроме звукового сигнала он показывает на дисплее направление на источник излучения и вид противодействия, в том числе и дымовую завесу (рис. 84).

Рис. 84. Прибор предупреждения «Спасатель» (на крыше бронированной машины установлена детекторная головка)

6.2. Противодействие органам зрения и оптико-электронным приборам, действующим в условиях ограниченной видимости

Помехи работе органов зрения и приборов, действующих в условиях ограниченной видимости, разделяются на активные и пассивные.

Активные помехи, воздействуя на какой-либо чувствительный прибор или систему видения, не только вызывают прекращение процесса наблюдения, но и оказывают физическое воздействие на чувствительный элемент, ухудшая его качества на некоторый промежуток времени или даже разрушая этот элемент.

К средствам ослепляющего действия относятся мощные прожекторы ИК- и видимого света, способные ослепить на длительное время органы зрения человека и ряд приемников светового излучения, а также вызвать необратимые процессы в виде локальных прожогов чувствительного слоя и отдельных элементов матричных приемников. Такой же характер могут иметь и лазерные импульсы дальномеров, целеуказателей и других средств, длина волны излучения которых лежит в спектральной области чувствительных приборов наблюдения и органов зрения человека.

К разрушающим средствам относятся специальные мощные излучатели, чаще всего лазерные, которые можно отнести к оружию, поскольку результаты их воздействия на органы зрения и чувствительные элементы подобны действию боеприпаса. Аналогичное действие на чувствительные элементы оптико-электронных приборов оказывает и СИЯВ — световое излучение ядерного взрыва, спектр которого чрезвычайно широк — от дальнего ультрафиолета до электромагнитного импульса, вызывающего паразитные наводки в электрических цепях, нарушающие работу электромеханической части приборов.

К **пассивным помехам** относятся средства, вызывающие нарушение видимости на срок действия самой помехи без ухудшения зрения наблюдателя и характеристик прибора, которым он пользуется. Пассивными помехами являются различные средства маскировки — маскировочные сети, камуфляж, табельные и подручные средства, дымы и аэрозольные образования. Часть из них применяется в условиях позиционной войны, а часть — в подвижных формах боя.

6.2.1. Средства активных помех

К средствам активных помех относятся прежде всего прожекторы ИК- и белого света, применяемые в активных ПНВ, а также на танках. Мощность ИК-прожекторов, используемых в качестве средств подсветки ПНВ с однокамерным ЭОП в прицелах к стрелковому оружию, средствам ближнего боя, артиллерии и БТТ, составляет 35, 350 и 1000 Вт соответственно. Прожектор РН-8-В на французском танке АМХ-30 ИК- и белого света осуществляет подсветку ИК-лучами ночному прицелу ОВ-24-А на дальности до 1500 м, а без ИК-фильтра позволяет обнаруживать цели в оптические приборы на дальности до 1500 м.

Источником света в этом прожекторе является лампа накаливания мощностью 250 Вт. Прожекторы мощностью 1 и 2,2 кВт установлены на боевых машинах бундесвера. Английские танки «Чифтен» и БТТ Японии также оснащены прожекторами.

Прямое попадание излучения прожекторов как ИК, так и белого света вызывает в ПНВ нулевого и I поколений слепящую засветку, действующую не только в период облучения, когда возникает слепящий ореол или сворачивается изображение, но и некоторое время спустя. В ПНВ II поколения, снабженных АРУ, действие слепящей засветки не распространяется по всему полю зрения, как в ПНВ нулевого и I поколений, а носит локальный характер и исчезает при выводе прибора из зоны действия помехи. Приборы с АРУ даже позволяют вести прицельный огонь из оружия по ИК-прожекторам (при условии определения дальности до источника света). Открытые источники яркого света — фары машин, вспышки выстрелов, факелы ракет — действуют аналогичным образом.

При освещении поля боя осветительными снарядами, минами, САБ и другими осветительными средствами видимость в активные ПНВ и ПНВ с УЯИ II и III поколений не ухудшается, если само светящееся тело не попадает в поле зрения ПНВ. При особо ярких источниках можно пользоваться защитными насадками с плотными фильтрами, используемыми для стрельбы из оружия в дневное время.

Наиболее сильное воздействие на ПНВ и НУТВ оказывают лазеры, точнее, лазерные дальномеры и лазерные целеуказатели, действующие на длинах волн 0,53 (самое опасное), 0,69 и 1,06 мкм. В табл. 6.2 приводятся приборы с лазерными излучателями, оказывающими поражающее действие на глаза наблюдателей, особенно вооруженных оптическими приборами с увеличением, кратность которого означает соответственное повышение плотности лазерного излучения на зрачке глаза.

Из таблицы видно, что поражение глаз может произойти на очень большом расстоянии от источника излучения. Необходимая оптическая плотность Д средств защиты глаз представляет собой десятичный логарифм отношения лазерного потока, падающего на защитный фильтр, к потоку после фильтра. Поэтому защитные фильтры на входе в оптический прибор предпочтительнее фильтров, установленных в окулярной части.

Приведенные в таблице данные подтверждают опасе-

Таблица 6.2

Величина опасного для зрения расстояния и необходимой оптической плотности средств защиты глаз (от излучения с длиной волны 1,06 мкм)

Тип прибора	Характер излучения и опасное расстояние для невооруженного зрения, км		Максимальная дальность поражения (для вооруженного зрения), км	Оптическая плотность (Д) средств защиты глаз	
	одиночные импульсы	многократные импульсы		минимальная	максимальная
Лазерный целеуказатель AN/PAQ-1	—	7,7	33	4,2	5,8
Лазерный целеуказатель AN/PAQ-3	5,8	20	79	—	—
	6,5	—	35	3,9	5,6
Лазерный локатор AN/TVQ-2	8	—	40	—	—
	3,8 (с фильтром)	—	22	—	—
	15	25	80	3,8	5,5
Авиационный лазерный дальномер LAAT	3,4	5	30	3,4	4,5
Лазерный дальномер танка M60A3	10	—	50	4,5	4,5

ния, высказанные рядом авторов, что военная аппаратура, использующая лазеры, таит угрозу поражения глаз личного состава на учебных тренировках и войсковых учениях с использованием современных оптико-электронных приборов, не говоря уже о лазерах, применяемых в качестве оружия.

Существует три вида воздействия лазерного излучения, способного вызвать поражение глаз:

термический, когда разрушаются белковые ткани за счет теплового воздействия, что приводит к поражению сетчатки;

термоакустический, когда энергия света, вызывая флюктуации давления внутри ткани, создает вибрации в различных отделах глаза и, в частности, может инициировать необратимое поражение сетчатки;

фотохимический, когда в результате нарушения химических связей и возбуждения молекул, поглощающих свет, происходит изменение природы тканей.

Так как зрение человека представляет совокупность многих функций, действие лазерного излучения на различные отделы глаза носит избирательный характер; излучение рубинового лазера ($\lambda=0{,}69$ мкм) разрушает сетчатку, излучение лазеров на стекле и АИГ с присадкой неодима ($\lambda=1{,}06$ мкм) вызывает нарушение функций глазных сред, а длинноволновое излучение лазера на CO_2 ($\lambda=10{,}6$ мкм) поражает роговицу и передние отделы глаза.

Приборы с применением лазеров, состоящие на вооружении армии США, разделяют по степени опасности для глаза человека на четыре класса:

I класс — лазеры малой мощности с уровнем энергии, не представляющим опасности для глаз, к числу которых относится лазерный имитатор стрельбы к винтовке М16;

II класс — лазеры малой мощности, но уровень излучения которых имеет потенциальную возможность поражения глаз; учитывая мигательную способность глаза, их можно отнести к безвредным;

III класс — лазеры средней мощности, создающие определенную возможность поражения глаз как в случае прямого, так и в случае зеркально-отраженного излучения, но несколько ослабленной мигательной функцией глаза;

IV класс — приборы, использующие лазеры большой мощности, излучение которых, как прямое, так и отраженное, является опасным для глаз, к ним относятся лазерные целеуказатели и лазерный дальномер танка М60А3.

Если на военных учениях используются приборы, имеющие в своем составе лазеры III и IV класса, то личный состав должен быть надежно защищен от возможного поражения глаз. Контроль за этим ведется под девизом: «Не прицеливайся и не стреляй лазером по неопознанным целям!», так как такой целью может оказаться любой низколетящий самолет или вертолет, любая машина на поле боя.

Наблюдая в ПНВ, объединенный с лазерным дальномером, необходимо иметь в виду, что лазерное излучение своего дальномера, отраженное от зеркального предмета — ветрового стекла машины или прожектора на танке, может попасть в объектив ПНВ и вывести из строя его высокочувствительный элемент — ЭОП или, в лучшем случае, прожечь фотокатод в виде точки. В дневных условиях, когда наблюдатель пользуется оптическим прибором — биноклем или прицелом, попадание в прибор отраженного лазерного излучения, усиленного в число раз, равное крат-

ности увеличения прибора, может вызвать поражение глаз наблюдателя.

Для защиты глаз наблюдателя и ПНВ применяются специальные фильтры, защитные свойства которых определяются назначением. Есть фильтры, которые защищают глаза от излучения с одной длиной волны, например от излучения неодимового лазера, а есть фильтры, защищающие от излучения на нескольких длинах волн.

Для защиты ПНВ используют специальные узкополосные фильтры, предохраняющие приборы от излучения лазеров со строго фиксированной длиной волны. В случае применения противником лазеров, перестраиваемых по частоте излучения, защита ПНВ чрезвычайно осложняется. Сведений о такого рода защитных фильтрах в зарубежной печати нет.

В то же время ночные очки являются самым надежным средством защиты не только от лазеров, применяемых в дальномерах и целеуказателях, но и от лазерного оружия, так как в случае попадания излучения лазера в очки наблюдается прожог в той точке фотокатода, куда попал лазерный луч. Глаза наблюдателя при этом не пострадают.

Очки и любые ПНВ защищают глаза от лазерного излучения многих приборов, имеющих в своем составе лазеры, но не защищают их от воздействия силовых лазеров, применяемых для борьбы с низколетящими целями путем прожога их оболочки.

Специалисты считают необходимым провести исследования по созданию фотохимических фильтров, способных защитить пассивные приборы ночного видения от воздействия лазеров с любой длиной волны.

В настоящее время арсенал средств защиты от лазерного излучения велик: очки, насадки к оптическим приборам широко рекламируют такие фирмы, как «Спектролаб», «Квантроникс», «Бауш и Ломб». Но все эти средства, обеспечивая надежную защиту от лазерного излучения, резко сокращают дальность действия самих защищаемых приборов, особенно оптико-электронных, основанных на преобразовании и усилении изображения. И действительно, чем выше чувствительность прибора, тем плотнее должна быть защита. Для случая лазерного облучения создание средств защиты несколько облегчается тем, что излучение лазеров занимает очень узкую полоску в спектре работы ПНВ, и тем не менее созданные защитные фильтры еще далеки от совершенства.

В последние годы большое внимание уделяется созданию лазерных дальномеров на углекислом газе, а также лазерного оружия на этой же (10,6 мкм) длине волны. Появились новые лазеры для целей разрушения — химические и газодинамические, обеспечивающие разрушение

Таблица 6.3

Лазеры военного назначения и уязвимые приемники

Спектральный диапазон	Область применения лазера	Тип лазера и длина волны, мкм	Уязвимые приемники
Видимая область	Связь	0,514, аргон	Глаза (сетчатка)
То же	Дальномеры	0,530, АИГ с неодимом (2-я гармоника) 0,694, рубин	Пассивные ПНВ, низкоуровневые ТВ-камеры, усилители яркости изображения
Ближняя ИК-область	Целеуказатели	0,800—0,900, арсенид галлия	Приемники лазерных дальномеров и систем связи
То же	Дальномеры, связь, тепловизоры	1,06, АИГ с неодимом	Глаза. Приемники лазерных дальномеров, тепловизоры 3—5 мкм
Средняя ИК-область	Наступательное оружие	2,6—3, фтористый водород 3,6—4, фтористый дейтерий 5—7, окись углерода	Разведывательные спутники Ракеты с тепловыми головками самонаведения
Дальняя ИК-область	Дальномеры, наступательное оружие, наведение ракет по лучу	10,6, двуокись углерода	Глаза (роговица). Приемники тепловизоров 8—12 мкм, разведывательные спутники, приемники лазерных дальномеров

оболочек ракет. В табл. 6.3 приводятся лазерные системы военного назначения и уязвимые фотоприемники, отличные от приведенных в табл. 6.2 лазерных дальномеров и целеуказателей. Новые системы оружия заняли «пустующие» места средней и ближней ИК-областей, где расположены приемники тепловизионных приборов, казавшиеся недосягаемыми для лазерного излучения. С разработкой интегрированных систем наблюдения и наведения оружия, состоящих из ПНВ, лазерных дальномеров на АИГ и теп-

ловизоров с дальномерами на CO_2, встречные действия потребуют от обеих противостоящих сторон средств защиты, ухудшающих основную характеристику — дальность действия.

В настоящее время зарубежные фирмы разрабатывают такие средства защиты, как защитные маски и козырьки, использующие голографическую и дифракционную оптику. Зарубежные специалисты утверждают, что если эти защитные устройства не будут слишком дорогими, то их, возможно, приобретет армия США.

Лазерный целеуказатель AN/PAQ-1, используемый в качестве средства противодействия оптико-электронным приборам, показан на рис. 85.

Рис. 85. Лазерный целеуказатель AN/PAQ-1 с рабочей длиной волны излучения 1,06 мкм

6.2.2. Пассивные помехи

Этот вид помех известен с незапамятных времен, когда для дезориентации противника при передислокации своих войск или для прикрытия войск при отступлении зажигались костры из различных дымообразующих подручных средств, в том числе из сырой травы и листьев. В наше же время это богатый арсенал специальных химических веществ с определенными свойствами, к числу которых от-

носятся цвет дыма, размеры частиц и область применения.

Дымы, применяемые в первой и второй мировых войнах, имели целью ослепить противника, лишить его возможности наблюдения и резко уменьшить действенность его огня. По меткому выражению немецкого военного теоретика Фрейса, «... выстрел через дым является выстрелом в темноту».

В современных условиях при наличии приборов ночного видения и тепловизионных приборов прицельный выстрел возможен и в темное время суток, а также в условиях ослепления противника дымовыми и аэрозольными средствами противодействия.

Дымообразующими веществами или дымообразователями называются химические продукты, образующие при введении в атмосферу плотный и устойчивый дым или туман, который благодаря своим оптическим свойствам используется в маскирующих целях.

Этому определению удовлетворяют все вещества, самопроизвольно дымящие на воздухе, а также вещества, требующие незначительных усилий для ускорения введения дымообразующего вещества в атмосферу в большом количестве.

Дымами называются коллоидные химические неоседающие аэрозоли с размером частиц от 0,1 до 0,003 мкм, туманами — оседающие аэрозоли с размером частиц от 10 до 0,1 мкм.

Соизмеримость размеров аэрозольных частиц с длиной волны видимого света в сочетании с огромной удельной поверхностью аэрозольного облака является причиной ряда оптических явлений, в результате которых аэрозольное облако обретает маскирующие свойства. Так, туман, образованный фосфорной кислотой с размером частиц от 0,47 до 1,2 мкм, является не только надежным маскирующим средством от наблюдения в видимом диапазоне, а также в ПНВ всех поколений, но и препятствием для прохождения лазерного излучения с длиной волны 0,69 и 1,06 мкм, т. е. помехой для лазерных дальномеров на рубине и АИГ.

Фосфорная кислота считается классическим дымообразующим средством и возглавляет ряд веществ, к которым относятся дымовая кислота, тетрахлориды титана, олова, кремния, хлориды фосфора, используемые в настоящее время в морских (хлорсульфоновая кислота) и в артиллерийских (тетрахлорид титана) боеприпасах бундесвера.

Однако для создания помех ИК-средствам наблюдения,

особенно в диапазоне 8—14 мкм, потребовались другие, твердые аэрозоли, неспособные соединяться с водой, чтобы дольше сохранять эффект дымообразования. Боеприпасы такого вида выпускаются в США под индексом М76 для самозащиты танков. Аналогичные дымовые шашки для танков производятся в ФРГ.

Из характеристик дымообразующих средств важное значение для расчета дымовых завес имеет скорость оседания аэрозольных частиц, зависящая от их размера. Так, при средних значениях влажности равновесие аэрозольных образований в воздухе наступает при радиусе частиц от 4 до $4{,}5 \cdot 10^{-2}$ мкм, а скорость оседания частиц размером 100 мкм, составляющая 1,2 м/с, падает до 0,12 м/с для частиц размером 1 мкм.

К аэрозолям предъявляются такие требования, как нетоксичность, высокий коэффициент полезного действия, неизменяемость свойств при хранении, безопасность в обращении, невысокая стоимость.

Значение дымовых средств противодействия оптико-электронным приборам в современных боевых действиях исключительно велико: с помощью дымовой завесы можно нарушить линию визирования между наводчиком ПТУР и целью (рис. 86), что практически равносильно выходу из

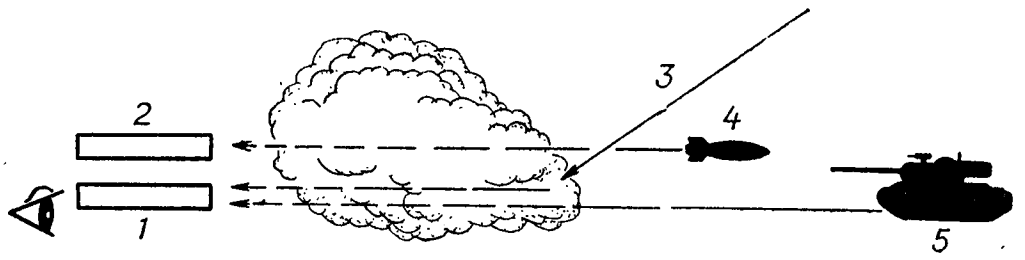


Рис. 86. Действие задымления на командную систему наведения ПТУР: *1* — прицел; *2* — лазерный целеуказатель; *3* — направление солнечного света; *4* — ракета; *5* — танк

строя всей системы, можно ослабить видимость трассера до такой степени, что система наведения на ПУ будет не в состоянии регистрировать положение ракеты на траектории.

Существующие лазерные системы наведения также могут оказаться несостоятельными, так как дымовая завеса может ослабить энергию как прямого, так и отраженного лазерного излучения настолько, что полуактивная головка самонаведения окажется не в состоянии ее зарегистрировать (рис. 87).

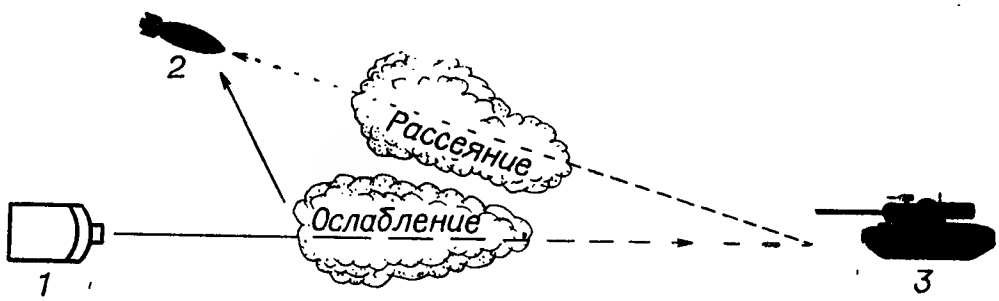


Рис. 87. Действие задымления на лазерную систему наведения ПТУР: *1* — лазер; *2* — ракета; *3* — танк

Перспективы использования лучевого оружия (ЛО) большой мощности на основе лазеров дают основание считать, что и здесь эффективность действия ЛО может быть существенно понижена в случае применения аэрозольных образований, рассеивающих энергию ЛО. При этом считают, что дымовые завесы не потребуют использования какой-либо новой дорогостоящей технологии: затраты в несколько сот долларов на несложные боеприпасы могут предотвратить расходы в тысячи долларов на сложную ракету, способную поразить цель.

Дымовые завесы являются сильным средством, способным не только нарушить ведение разведки, ориентирование и прицеливание, но и вызвать панику личного состава при плотных завесах.

На вооружении армии США состоят многочисленные технические средства для постановки дымовых завес: гранаты с красным фосфором, мины с белым фосфором к 81-мм и 107-мм минометам, артиллерийские снаряды к 155-мм гаубице, дымовые шашки и дымовая машина М-ЗАЗ. Эти средства обеспечивают возможность постановки дымовых завес длиной от 30 м до 3 км, шириной от 33 м до 2 км с длительностью действия от 3 с до 1,5 мин, а с машиной — до 20 мин, при этом дымовая машина производит аэрозоли, способные осуществить маскировку в ИК-диапазоне.

Американский ученый С. Н. Донелли отмечает, что советские специалисты придают большое значение дымовым завесам и включают их в планы боевой подготовки, так как применение дымов может уменьшить эффективность огня оборонительного оружия противника в 5 раз, а в оборонительных операциях снизить эффективность оружия противника в 10 раз!

Американцы считают, что доктрина армии США по применению дымовых завес отстала от тактической докт-

рины оружия на 20 лет, поэтому планируется ввести в практику боевой подготовки обучение с использованием дымовых средств и индивидуальную подготовку личного состава в условиях применения противником дымовых завес.

В бундесвере вопросам производства и применения дымообразующих составов также уделяется большое внимание. Классические дымообразующие средства, по мнению специалистов, не отвечают современным требованиям по спектральной области действия, стоимости, длительности хранения боеприпасов, маскировочных средств, а также по токсичности (например, дымообразующие средства с применением белого фосфора).

В настоящее время дымовые завесы получают путем вибрационного выпаривания органических жидкостей: аэрозольного масла, дизельного топлива, керосина, глицерина, полиэтиленгликоля. При этом к масляному дыму добавляют воду, чтобы изменить плотность дыма. Дымовые завесы такого типа получают с помощью генераторов (дымовых машин) и используют их для задымления больших площадей и маскировки больших объектов.

Для артиллерийских боеприпасов и головных частей ракет используют пиротехнические составы на основе гексахлорэтана в сочетании с порошками металлов и их окислов: цинком, окисью цинка, алюминием, железом, окисью железа и двуокисью титана, которые при взаимодействии с гексахлорэтаном образуют гигроскопичные хлориды.

Другая большая группа пиротехнических дымообразующих составов основана на применении красного фосфора. Эти составы наряду с органическими связующими имеют необходимое количество таких окислителей, как окись меди, пиролюзит, соли азотной кислоты, для обеспечения хорошей воспламеняемости. Пиротехнические дымообразующие составы на основе красного фосфора используются в основном в артиллерийских снарядах и комбинированных зажигательно-дымовых ракетах типа 110-мм ракеты «Ларс». Подобные составы применяются преимущественно в США и Великобритании, во Франции и ФРГ их применение ограничено.

По мнению представителя фирмы по производству пиротехнических боеприпасов НИКО (ФРГ) Ханса-Юргена Дидерихса, наряду со специальными маскирующими дымами для подавления определенных спектральных приборов наблюдения и разведки необходимо также разрабаты-

вать универсальные дымообразующие составы многоспектрального действия.

В бронетанковых войсках армии США для приготовления маскирующих аэрозольных завес используются сами танки. Например, для создания дыма дизельное топливо впрыскивается в выхлопную систему машины. Но этот способ неэкономичен, а образующееся дымовое облако не обеспечивает маскировку в инфракрасных областях спектра.

Другой способ приготовления маскировочной завесы с помощью танков заключается в использовании пыли, что имело место во время боевых действий в Северной Африке во время второй мировой войны. При этом способе в качестве генератора пыли использовалась устанавливаемая на гусеницах машины система, с помощью которой глина, песок и грязь удаляются с гусениц щетками и подаются на вращающуюся сушилку, обогреваемую выхлопными газами. Образовавшаяся сухая пыль направляется в центробежный истиратель дважды, в результате чего средний размер частиц доводится до 10 мкм. Изготовленная таким образом пыль подается в электростатическое устройство, сообщающее частицам пыли отрицательный заряд, что предотвращает их слипание и обеспечивает зависание над поверхностью земли вследствие отрицательного потенциала самой Земли (эффект электрода). Размер частиц пыли (10 мкм) указывает на то, что она предназначается для маскировки и противодействия ИК-средствам — тепловизионным приборам и лазерным дальномерам на CO_2, длина волны которых соизмерима с размерами частиц пыли. Схема действия генератора пыли приводится на рис. 88.

Помимо постановки дымовых завес в приземном пространстве для маскировки наземных боевых операций и боевой техники создаются средства для мгновенной постановки дымовых экранов с помощью ракетных установок с дымовыми ракетами. Дымовые ракеты для постановки экранов снабжаются дистанционными взрывателями, позволяющими подрывать ракеты на высоте 90, 60 и 30 м. Разработанные дымовые ракеты позволяют в течение 5 с образовать маскирующее дымовое облако на высоте 120 м протяженностью 185 м для защиты танковой колонны от ударов с воздуха.

Индивидуальные пехотные средства маскировки широко практикуются на учениях многих армий мира. Так, в качестве генератора дыма на вооружении австрийской ар-

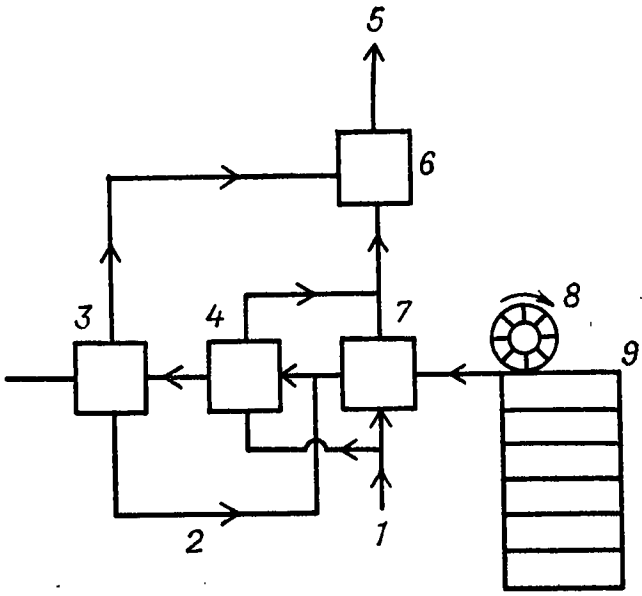


Рис. 88. Структурная схема генератора пыли, устанавливаемого в танке:

1 — отработанные газы двигателя; *2* — необработанный материал; *3* — сепаратор; *4* — измельчитель; *5* — выброс облака в атмосферу; *6* — электростатическое заряжающее устройство; *7* — осушитель; *8* — вращающаяся щетка; *9* — гусеница танка

мии состоят шашки НС-81 массой 4,5 кг с продолжительностью действия 5 мин. Другой вид шашки группового применения — НС-75 массой 10,5 кг имеет продолжительность задымления 18—22 мин. У бельгийского генератора РРВ НС массой 1 кг продолжительность действия 4—6 мин.

Существуют и дымовые гранаты. Дымовая граната НИКО (ФРГ) создает дымовую завесу длительностью всего 120 с, ее длина 137 мм, диаметр 44 мм. Чуть побольше американская дымовая граната массой 539 г: ее длина 146 мм, диаметр 64 мм.

Говоря о средствах маскировки, нельзя не упомянуть о влиянии, которое оказали тепловизионные средства наблюдения в условиях ограниченной видимости на танкостроение. Так, по сообщению западногерманской печати, современное танкостроение преследует цель — создание минимального теплового контраста боевой машины с окружающей средой в передней части и с бортов, а также маскировку таких источников тепла, как двигатель, решетка выхода газов, опорные катки. С этой точки зрения расположение решетки выхода газов в кормовой части танка «Леопард 2» является уже преимуществом по сравнению с боковым выходом на танке «Леопард 1».

Развитие тепловизионной техники и оснащение ею всех родов войск потребовало в свою очередь разработки новых эффективных средств маскировки боевой техники, живой силы и местности, изменения сигнатур, характерных для определенного класса целей. Ведь человек или машина с работающим двигателем, замаскированные кустарником или маскировочными сетями, будут наблюдаться в тепловизионный прибор как контурный тепловой рисунок.

Попытки замаскировать живую силу и технику приводят к тому, что на тепловизионной картине возникают «черные дыры», т. е. места замаскированной военной техники; это вызывает перегрев укрытой техники, а для противника является хорошим целеуказанием района сосредоточения. Поэтому тепловая маскировка, аналогично оптической, должна воспроизводить природные объекты. В условиях боевых действий в пригородной зоне живая сила должна размещаться в застроенных районах, где необычные термограммы становятся типичными, за исключением случаев, когда деревья срублены, а объекты, излучающие тепло, находятся в неподходящих местах, дезориентирующих наблюдателей противника, имеющих тепловизоры.

Предпочтительными являются маскировочные сети или специальная тепломаскирующая пена. Маскировочная сеть позволяет теплу, излучаемому машиной, рассеиваться, что образует фактуру в виде перекрывающихся прорезей, напоминающих по структуре нависающие карнизы домов, дезориентирующие наблюдателей противника.

Тепломаскирующая пена может окрашиваться под растительность окружающей местности, на которой расположен объект. Пена может наноситься на большие площади, выделяющие тепло, например, на двигательные установки, что способствует уменьшению интенсивности теплового рисунка, приближая ее к фону местности.

Пена применяется и для маскировки местонахождения самолетов и боевых машин после их передислокации, так как солнце нагревает землю вокруг машины, а то место, где стояла машина, остается холодным после ухода ее со стоянки.

Самолет, прогревающий свои двигатели, сильно нагревает летное поле отработанными газами, в результате чего даже после ухода машины со стоянки на поле остается ее тепловой контур, демаскирующий аэродром. Пена, распыленная на поле, уменьшает этот эффект, дезориентирует наблюдательные приборы противника, установленные на воздушных носителях, и дает возможность переменить

дислокацию после обнаружения аэродрома разведчиками противника.

В целях дезориентации противника можно создавать необычные тепловые сигнатуры, дезориентирующие тепловизионную аппаратуру противника. Если же к тепловой дезориентации добавить еще и радиолокационную путем подачи ложных сигналов РЛС самолетов, то можно создать обстановку, дезориентирующую противника.

7. БОЕВЫЕ ДЕЙСТВИЯ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОЙ ВИДИМОСТИ

7.1. Ограниченная видимость

Под ограниченной видимостью понимают такие условия, при которых зрение человека, не будучи вооруженным, не в состоянии видеть и различать местность и предметы на ней либо из-за несоответствия спектральной чувствительности глаза спектру излучения или отражения рассматриваемой картины, либо из-за плохой прозрачности атмосферы, которая может быть вызвана как метеорологическими условиями, так и применением противником средств искусственной маскировки или помех.

В первом случае, когда ограничение видимости обусловлено низким уровнем ЕНО или отсутствием необходимого контраста, а глаз человека не в состоянии преодолеть барьер, поставленный природой, на помощь приходят различные осветительные средства. Но эти средства исключают скрытность, а следовательно, и фактор внезапности, так необходимый для успешного проведения оборонительной или наступательной операции.

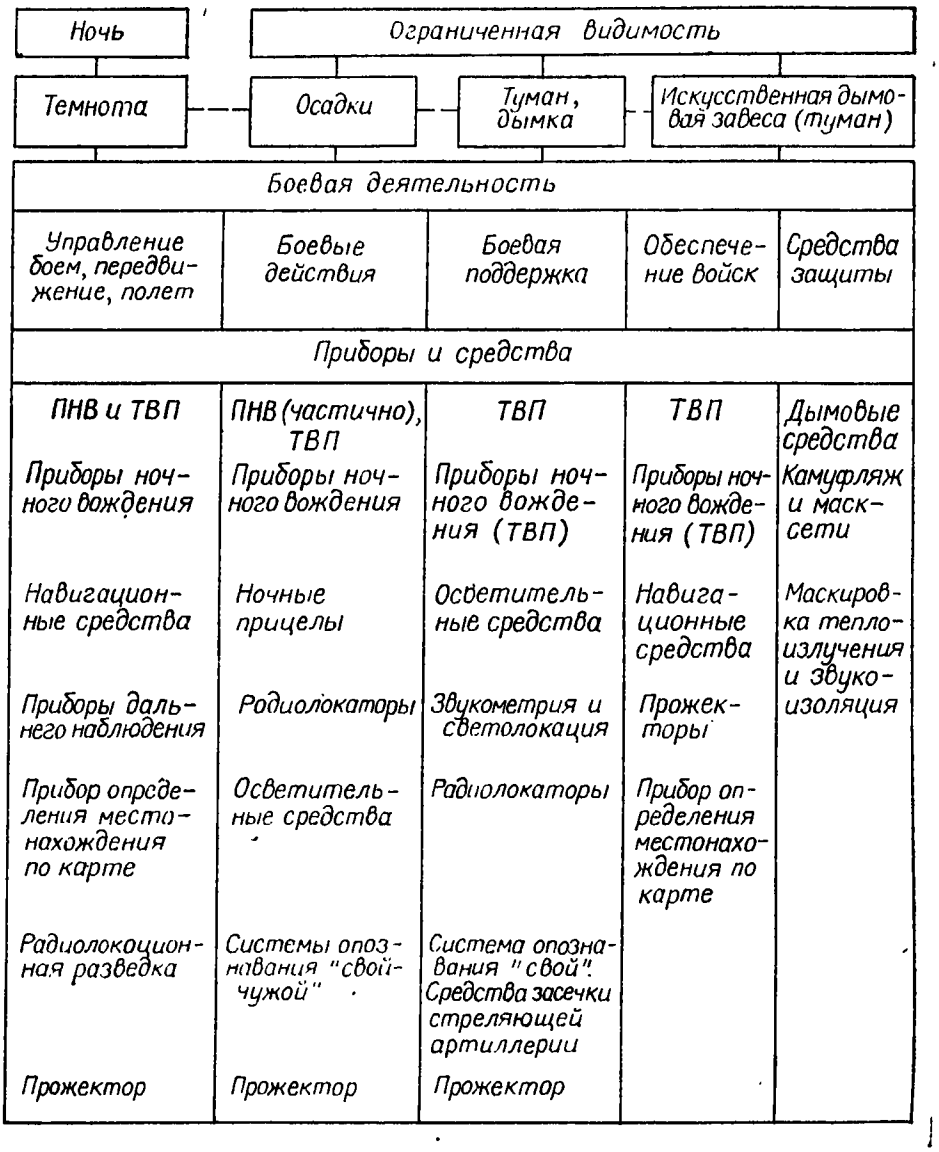
Современная техника восполняет этот пробел, предоставляя в распоряжение войск пассивные ПНВ, с помощью которых путем многократного усиления, а также спектрального преобразования (ТВП) успешно решается проблема ночного видения. При этом ТВП решают и другую задачу ограниченной видимости — возможность наблюдения в условиях естественных помех, вызванных погодными условиями, и искусственных, создаваемых противником. Этот вид приборов действует днем и ночью.

Конечно, успешное преодоление ограничения видимости определяется техническим уровнем приборов и степенью подготовки личного состава, а также качеством помехи, особенно искусственной, обладающей особыми свойствами в диапазоне рабочего спектра прибора наблюдения. Но в

целом боевые действия с применением современных оптико-электронных приборов в условиях ограниченной видимости являются, безусловно, эффективными.

Таблица 7.1

Ограниченная видимость и средства, применяемые для ее преодоления



Ночь	Ограниченная видимость			
Темнота	Осадки	Туман, дымка	Искусственная дымовая завеса (туман)	
Боевая деятельность				
Управление боем, передвижение, полет	Боевые действия	Боевая поддержка	Обеспечение войск	Средства защиты
Приборы и средства				
ПНВ и ТВП	ПНВ (частично), ТВП	ТВП	ТВП	Дымовые средства
Приборы ночного вождения	Приборы ночного вождения	Приборы ночного вождения (ТВП)	Приборы ночного вождения (ТВП)	Камуфляж и масксети
Навигационные средства	Ночные прицелы	Осветительные средства	Навигационные средства	Маскировка теплоизлучения и звукоизоляция
Приборы дальнего наблюдения	Радиолокаторы	Звукометрия и светолокация	Прожекторы	
Прибор определения местонахождения по карте	Осветительные средства	Радиолокаторы	Прибор определения местонахождения по карте	
Радиолокационная разведка	Системы опознавания "свой-чужой"	Система опознавания "свой". Средства засечки стреляющей артиллерии		
Прожектор	Прожектор	Прожектор		

В табл. 7.1 приводятся технические средства, используемые в войсках бундесвера для проведения боевых операций в условиях ограниченной видимости. По данным таблицы боевые действия ночью при условии достаточной прозрачности атмосферы обеспечиваются довольно обширной номенклатурой технических средств, главную роль в которой играют приборы ночного видения преимуществен-

но пассивного типа. В случае ухудшения ЕНО или прозрачности атмосферы ПНВ снижают основную характеристику — дальность действия, поэтому решение тактических задач передается другим средствам. Разведывательные функции на тактических дальностях действия вооружения могут выполнять тепловизионные приборы, а на больших дальностях — радиолокационные средства и пассивная звукометрическая аппаратура, придаваемая противотанковой и полевой артиллерии. В зависимости от характера выполняемой задачи возможно использование таких средств, как осветительные ракеты, прожекторы ИК- и белого света, теплопеленгаторы. При этом большое внимание уделяется **световой дисциплине,** устанавливаемой командирами для активных средств подсветки — ИК- и белым прожекторам, демаскирующим боевые порядки своих войск.

7.2. Действия войск в условиях ограниченной видимости

Оснащение подразделений сухопутных войск приборами ночного видения, по мнению зарубежных специалистов, не упрощает боевую деятельность войск, а, наоборот, предъявляет новые требования к солдатам и командному составу, так как ночью не обеспечивается возможность ведения боевых операций пехотой и подвижными средствами с той же эффективностью, что и днем. Причинами этого являются:

ограниченное ориентирование на местности из-за резкого сокращения поля зрения и дальности наблюдения, определяемых характеристиками ПНВ: очков ночного видения, наблюдательных приборов и прицелов; при этом в движении можно пользоваться только очками ночного видения, дальность действия которых в десятки и сотни раз меньше, чем дальность видения глазами и в оптические (дневные) приборы;

усложнение опознавания целей из-за потери цветоразличения;

резкое сокращение подвижности живой силы и техники, целиком зависящей от возможностей ПНВ;

затруднения при смене позиций, сосредоточении и рассредоточении войск.

К этим постоянно действующим факторам, зависящим от освещенности и характеристик вооружения, обеспечивающего боевые действия в условиях ограниченной видимо-

сти, добавляется существенное различие в технической оснащенности пехоты и средств БТТ — танков, БМП и БРМ. Последние вооружены тепловизионными приборами, чем не располагают пехотные подразделения из-за отсутствия портативных ТВП.

Большое значение в проведении боевых операций в условиях ограниченной видимости имеют обученность войск и подготовка к проведению предстоящей операции, основой которой является техническое состояние вооружения вообще и оптико-электронных приборов, обеспечивающих возможность наблюдения, в частности.

Зарубежные обозреватели обращают особое внимание на планирование боевых операций, считая основным требованием для их успешного осуществления простоту и четкость последовательных действий, исключение каких бы то ни было перегруппировок, смещения БТТ, пехоты, мотопехоты и истребительно-противотанковых частей, тесное взаимодействие с группами поддержки. При этом подчеркивается важность таких факторов, как прямолинейность движения, использование средств ориентирования, четкое определение порядка ведения огня и времени начала движения войск.

Особое внимание придается моменту внезапности, который определяется оперативностью разведки, скрытным сосредоточением войск на исходных рубежах и обеспечением движения войск в направлениях, заранее намеченных светящимися указателями.

Известно, что наиболее эффективным средством ведения боевых действий СВ, сочетающим огневую мощь с высокой мобильностью и отвечающим требованиям современной тактики ведения войн, являются танки.

Современные танки, оснащенные пассивными приборами, обеспечивающими наблюдение целей и ведение по ним прицельного огня в условиях ограниченной видимости, состоят на вооружении многих стран мира, и в особенности стран НАТО.

«Армия США считает, что оснащение своих войск приборами ночного видения создаст превосходство над странами Варшавского Договора за счет эффективности этих средств вооружения. Вполне вероятно, что вооруженные силы США в дневное время будут сражаться в обороне для нанесения максимального ущерба противнику с тем, чтобы в ночное время, используя превосходство в технологии ночного видения, совершить внезапную атаку для победы», — предвосхищает события американский спе-

циалист в области оптико-электронных приборов военного назначения Джордж Томсон *.

К техническим средствам, способным обеспечить возможность обнаружения тактических целей в условиях низкого уровня ЕНО или плохой метеорологической видимости, вызванной состоянием атмосферы или применением противником дымов и аэрозолей, ухудшающих видимость, можно отнести:

пиротехнические осветительные средства и прожекторы — при удовлетворительной прозрачности атмосферы;

радиолокаторы микроволнового и миллиметрового диапазонов — днем и ночью при любом состоянии атмосферы и применении противником любых средств противодействия, кроме специальных противорадиолокационных;

тепловизионные приборы — днем и ночью в условиях помех и маскировки, кроме лазерного оружия;

приборы ночного видения всех поколений — ночью при уровне ЕНО не ниже 10^{-3} лк при отсутствии тумана и задымления.

Арсенал пиротехнических средств, применяемых в современных условиях, довольно обширен: авиабомбы с парашютирующими средствами освещения, осветительные снаряды и мины, осветительные реактивные патроны с парашютирующими звездками, зажигательные снаряды и мины.

Все эти средства обеспечивают возможность наблюдения целей и ведения по ним огня из всех видов оружия в отдельных фазах боя путем освещения боевых порядков и позиций противника, что носит локальный характер и зачастую не приносит желаемых результатов из-за отсутствия элементов внезапности и скрытности, а также из-за одновременной демаскировки своих боевых порядков.

Применение радиолокационных средств разведки, особенно микроволновых РЛС, обеспечивающих радиовидение, достаточно эффективно, но активный характер их действия не всегда позволяет решать задачи разведки, где основным условием успеха является скрытность. Таковы же по характеру действия и РЛС миллиметрового диапазона, обладающие еще меньшим затуханием в мутных средах.

Многие зарубежные специалисты предвещают большое будущее использованию РЛС в системах управления огнем танка, однако некоторые из них утверждают, что «...с первого дня войны все радиотехнические средства связи и

---

* Military Technology. 1986. V. 10. No 7. P. 98—108.

разведки будут подавлены настолько, что ими нельзя будет пользоваться ни одной из воюющих сторон...» *. Именно поэтому использование пассивных средств для наблюдения противника и разведки его позиций и технических средств и ведение прицельного огня из всех видов оружия с использованием опять-таки пассивных средств представляются наиболее приемлемыми в современных условиях.

Большинство западных специалистов по оптико-электронным приборам: Джордж Томсон, Хельмут Шварц, Клаус Лоренц, Вольфганг Шнейдер и др.,—освещая вопросы боевого применения приборов ночного видения и тепловизионных приборов, привязывают их использование обязательно к Европейскому театру, описывая конфронтацию и даже войну между странами Варшавского Договора и странами военного блока НАТО, хотя конфронтации, имеющие место в мире сегодня, происходят далеко от Европы.

Прежде всего зарубежные авторы указывают на то обстоятельство, что для Европейского ТВД в среднем в течение года почти половина времени суток приходится на ночь, что иллюстрируется диаграммами (рис. 89). Дейст-

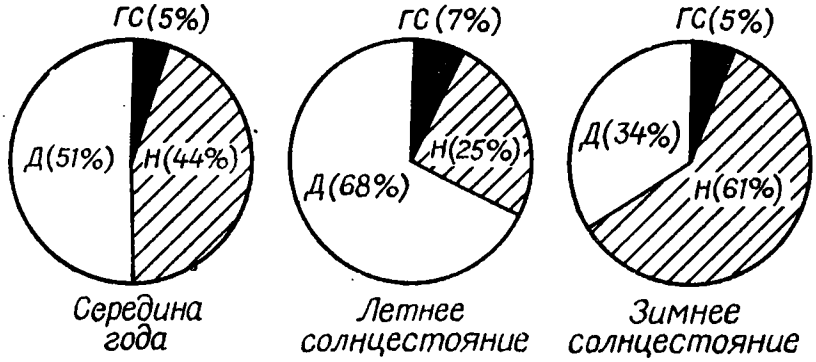


Рис. 89. Диаграммы распределения темного и светлого времени в течение года (для 50° северной широты)

вительно, 50-я параллель характерна большим числом пасмурных дней, когда сумерки наступают раньше обычного времени, а рассвет запаздывает почти на час, что увеличивает время проведения боевых действий с применением техники ночного видения или осветительных средств. Поэтому многие приборы и системы ночного видения рас-

* International Defense Review. 1980. V. 13. No 2. P. 251.

сматриваются с точки зрения полноты обеспечения ими деятельности в темное время суток, т. е. «превращения ночи в день».

Однако, как мы знаем, «превращение ночи в день» является только частью задачи по обеспечению боевых действий в условиях ограниченной видимости, так как ПНВ в отдельных случаях окажутся несостоятельными и основная тяжесть в решении боевой задачи придется на более эффективное средство — тепловизионные приборы. Естественно, в этих условиях будут применяться и радиолокационные приборы, хотя им присущи такие недостатки, как активный способ действия и недостаточная разрешающая способность, затрудняющая ведение прицельного огня по тактическим целям.

Основным требованием проведения боевых операций при ограниченной видимости является скрытность разведки и наблюдения, передвижения войск, подготовки к открытию огня. В современных условиях с учетом всевозрастающей роли таких пассивных средств наблюдения и разведки, как тепловидение, обнаружение противником подготавливаемой операции может привести к срыву ее сроков, несмотря на кажущуюся надежность средств маскировки.

В настоящее время войска бундесвера располагают следующими средствами обеспечения боевых действий в условиях ограниченной видимости:

тепловизионные приборы:

прибор наблюдения — прицел*: танки «Леопард 1» и «Леопард 2», БМП «Мардер», БРМ «Лукс»;

прибор наблюдения — прицел «Мира» к ПТУР «Милан»;

прибор наблюдения — прицел AN/TAS-4 к ПТУР TOW;

прибор наблюдения — прицел AN/TAS-4A истребителя танков «Ягуар 2»;

пассивные приборы ночного видения и ночные прицелы I поколения:

прибор BM8005 для вождения БТТ — все бронированные машины;

ночной прицел «Орион 80» — винтовка G3 и станковый пулемет;

бинокулярный наблюдательный прибор — колесные машины, экипажи вертолетов;

---

* В бундесвере приборы наблюдения самостоятельного обозначения не имеют, так как входят в состав СУО.

ночной бинокль BM8043 командирский — танки, БТР, командиры пехотных взводов;

танковый наблюдательный прибор-прицел BM8025 с тепловым пеленгатором БМП «Мардер А1»;

низкоуровневый телевизионный прицел PZB 200—танк «Леопард 1».

Помимо указанных выше средств танковый разведывательный батальон имеет радиолокаторы, входящие в штат радиолокационного взвода: RASURA и RASIT, обеспечивающие обнаружение движущихся целей — танков, машин, групп пехоты и отдельных солдат на дальностях 200—5000 м (RASURA) и 8000—20 000 м (RASIT) с акустической индикацией у РЛС RASURA и оптико-акустической у РЛС RASIT, при этом последняя имеет ряд преимуществ: автоматическое слежение за целью, возможность подключения блока ввода данных, а также самописца, наносящего на карту путь цели.

Разведывательные танковые части кроме РЛС имеют на вооружении танк «Леопард 1», оснащенный ПНВ, и БТР «Фукс» с тепловизионным прицелом для ПТУР «Милан».

С развитием ПНВ от нулевого поколения к III и появлением тепловизионных приборов возрастала и их эффективность по дальности действия и углу обзора. На рис. 90 показан рост эффективности приборов, обеспечивающих наблюдение при ограниченной видимости, от ПНВ нулевого поколения с прожектором ИК- и белого света к прибору наблюдения и прицеливания пассивного типа PZB 200, а затем к тепловизионному прибору, отличающемуся высокими ТТХ по дальности действия и углу поля зрения. ТВП превосходят ПНВ нулевого поколения почти в 1,5 раза по дальности действия, а по полю зрения в 10 раз!

Танк «Леопард 1», разработанный для замены танков М47 и отчасти М48, оснащен прожектором, установленным на маске орудия и работающим в режимах ИК- и белого света. Максимальная дальность 1000—1500 м. На дальности 1000 м прожектор освещает рассеянным светом пространство размером 45×35 м, а при сконцентрированном пучке — 26×20 м.

Серийное производство пассивных ПНВ началось в 70-е годы, в результате часть танков «Леопард 1» была оснащена пассивными приборами PZB 200. Позднее прибор PZB 200 был установлен на танке М48. Однако, по мнению западногерманских специалистов, прибор PZB 200

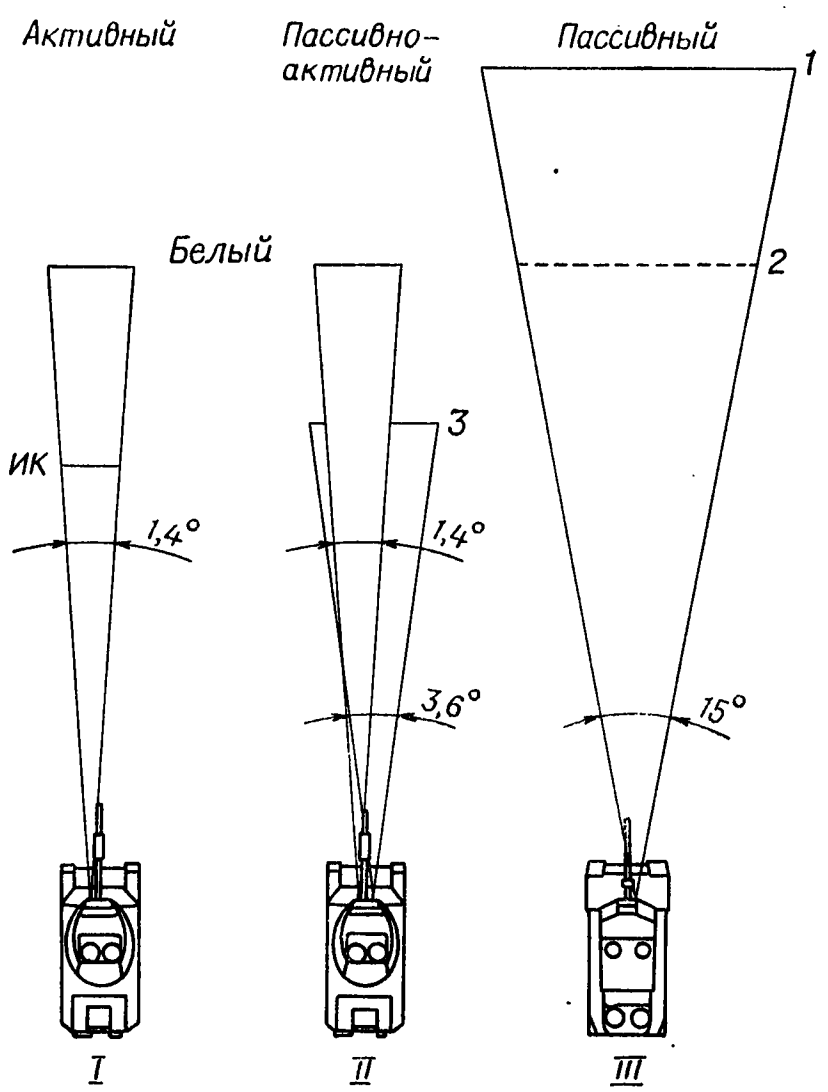


Рис. 90. Сравнительные характеристики приборов ночного видения и тепловизионных приборов, устанавливаемых на танках бундесвера:

I — танки «Леопард 1» и М48 с активными ПНВ и прожектором ИК- и белого света; II — танк «Леопард 1» с пассивным НУТВ прибором PZB 200 и «белым» прожектором; III — танк «Леопард 2» с тепловизионным прицелом; *1* — дальность обнаружения; *2* — дальность опознавания; *3* — дальность обнаружения в пассивном режиме

имеет ряд недостатков: зависимость от уровня ЕНО и прозрачности атмосферы, малый угол поля зрения, что приводит к недостаточной эффективности действия и затруднению в ориентировании в ночных боевых действиях. Тем не менее, как отмечает западногерманский обозреватель, «...эффективность работы танкового экипажа значительно возросла...» *, так как пассивный прибор 1 поколе-

* Wehrtechnik. 1980. No 1. S. 64.

ния PZB 200 обеспечивает увеличение поля обзора по сравнению с активным ПНВ нулевого поколения более чем в 2 раза.

Очевидны и высокие характеристики по дальности и углу поля зрения тепловизионного прибора танка «Леопард 2», который позволяет обнаруживать цели на дальности, превышающей в 2 раза дальность обнаружения активным прибором с подсветкой ИК-прожектором и в 1,7 раза дальность обнаружения пассивным прибором I поколения PZB 200. При этом ТВП обеспечивает возможность идентификации целей на дальности действия прожектора белого света танка «Леопард 1» в угле, превышающем угол раствора прожекторного луча в 10 раз!

Рассматривая обеспечение боеспособности сухопутных войск в условиях ограниченной видимости, западногерманский специалист в области ИК-техники Эрхард Хекман считает важным фактором успешных боевых действий равномерное распределение тепловизионных приборов — наиболее эффективных на сегодняшний день — в войсках.

В соответствии с программой повышения боеспособности танков, БМП и БРМ бундесвера в 1986 г. на танки «Леопард 1» и «Леопард 2», а также на БМП «Мардер» и БРМ «Лукс» начали установку тепловизионных приборов, изготавливаемых консорциумом американских и западногерманских фирм «Техас Инструментс» и «Цейсс». Первыми получили тепловизионные приборы в начале 1986 г. танки «Леопард 1 А1» («Леопард 1 А5»), почти одновременно начали оснащаться тепловизорами танки «Леопард 2», а затем БМП «Мардер» и БРМ «Лукс», общее число которых в соответствии с программой бундесвера, принятой в 1980 г., должно составить 8000 приборов, изготовленных по программе «Общих модулей» (СМ).

Поскольку речь идет о боевых возможностях вооружения, обеспечивающего боевые действия при ограниченной видимости, вспомним основные характеристики пехотного вооружения бундесвера (рис. 91). Из характеристик дальности действия оружия следует, что ночной прицел «Орион 80» удовлетворяет условиям ведения эффективного огня из ручного стрелкового оружия и гранатомета — основного оружия пехоты. Что же касается оружия, имеющегося на борту подвижных средств, то ведение огня из него обеспечивается другими ПНВ с большей дальностью действия: прицелом «Орион 110» и прицелами нидерландской фирмы «Олдельфт», состоящими на вооружении стран,

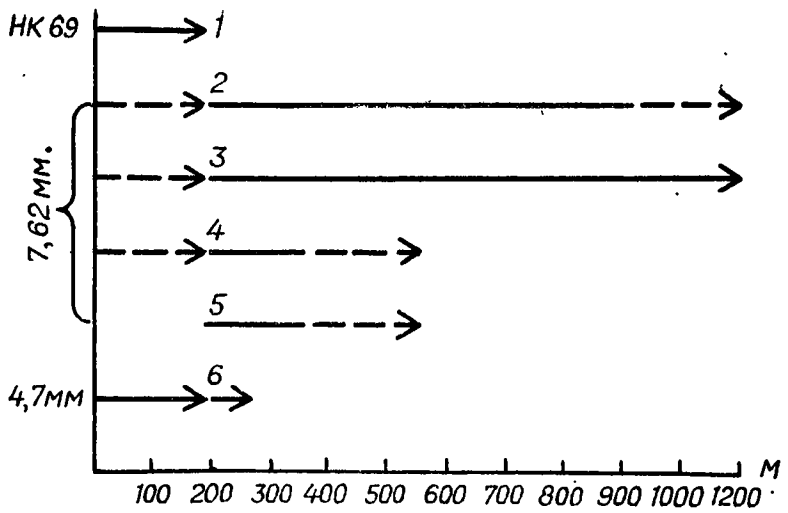


Рис. 91. Использование вооружения пехоты бундесвера в боевых действиях будущего:
1 — гранатомет НК69; *2* — бортовой пулемет MG3; *3* — станковый пулемет; *4* — ручной пулемет; *5* — снайперская винтовка SSG; *6* — штурмовая винтовка G11

входящих в НАТО, дальность действия которых по пехоте составляет 1200 м.

Приборы ночного видения активного и пассивного типа, устанавливаемые на объектах БТТ бундесвера, обеспечивают ведение прицельного огня из имеющегося у них бортового оружия с эффективностью, приближающейся к условиям боевых действий днем. При этом трудно представить ночные боевые действия в абсолютной темноте, так как поле боя непрерывно освещается разрывами снарядов и мин, факелами осветительных средств. Для ПНВ активного типа такие изменения освещенности не представляют большой опасности, а иногда и помогают обнаружить цель. Для приборов пассивного типа, обладающих высокой чувствительностью, локальные засветки в ПНВ II поколения не вызывают необратимых явлений и не приводят к нарушению боеспособности, а засветки в ПНВ I поколения с каскадными ЭОП хотя и нарушают видимость на время действия засветки, но не приводят к выходу прибора из строя, за исключением, конечно, засветок, вызванных действием лазерных излучателей.

Высокие боевые качества БТТ, подкрепленные техникой ночного видения, являются основой успешных боевых действий в условиях ограниченной видимости, поэтому при модернизации БТТ бундесвера особое внимание было уделено оснащению танков и боевых машин пассивными ПНВ, так как, по определению западногерманского специ-

алиста по ИК-технике Хельмута Шварца, в настоящее время приборы с активными источниками излучения скорее обладают недостатком, а не преимуществом, так как они обнаруживаются с помощью ИК-приборов с усилителями яркости.

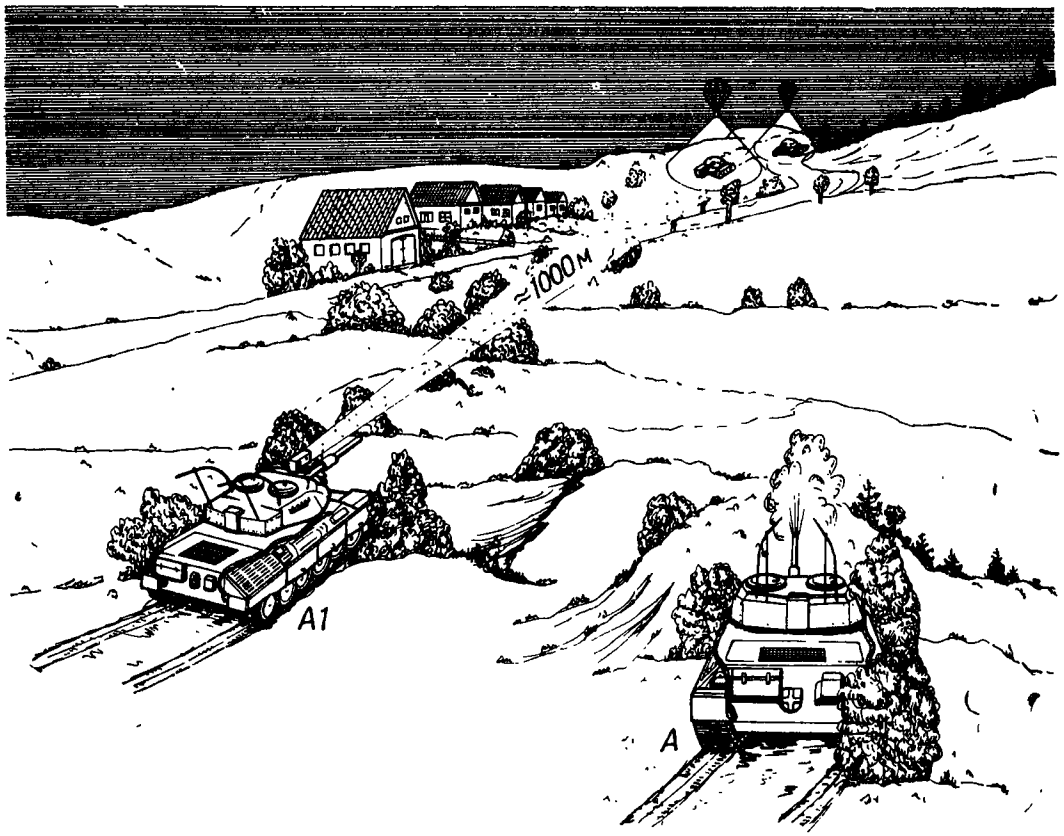


Рис. 92. Тактическая схема ночных боевых действий танков

На рис. 92 показан ночной бой с двумя танками противника, обнаруженными с помощью осветительных ракет с парашютирующими звездками вне зоны действия приборов ночного видения. По команде «*A*1! Три часа одиннадцать. Два танка на подходе к домам. Белый свет! Открыть огонь! Конец» танк *A* открывает огонь. Такая тактика обеспечивает не только ослепление танков противника, но и возможность ведения огня из своего другого танка, стоящего вне зоны светового луча прожектора, что обеспечивает хорошую видимость цели. Одновременно экипажи танков противника должны решить, по какому из танков надо открыть ответный огонь: включившему прожектор или стреляющему, на что требуется время, тогда как прожектору дается на освещение не более 10 с.

До установки на БТТ бундесвера тепловизионных прицелов танки «Леопард 1» имели низкоуровневые ТВ прицелы PZB 200. Ночной командирский бинокль BM8043 используется не только как наблюдательный прибор, но и как средство разведки активных источников ИК-излучения, так как тепловизионные приборы, действующие в дальнем ИК-диапазоне, не чувствуют в диапазоне активных прожекторов ПНВ, что является скорее преимуществом в условиях резкоменяющейся освещенности во время ночных боевых действий.

Оснащение войск приборами ночного видения и тепловизионными приборами отнюдь не означает ликвидацию осветительных и других активных средств, обеспечивающих ведение боевых действий. Современная мотопехота использует современные осветительные средства, возможности которых сильно возросли после второй мировой войны.

Считают, что применение ПНВ III поколения с ЭОП, имеющими фотокатод на арсениде галлия, позволит сократить для Европейского театра военных действий время очень темных ночей на 30% по сравнению с возможностями ПНВ II поколения. Но это нововведение вряд ли коснется объектов БТТ. Бундесвером взят твердый курс на оснащение БТТ тепловизионными приборами, несмотря на их высокую стоимость.

Стремление к выявлению теплоизлучающих целей — объектов БТТ — привело к созданию в ФРГ комбинированного прибора, состоящего из пассивного ПНВ с УЯИ II поколения в качестве прибора наблюдения и теплочувствительного пироэлектрического прибора WZ1 для определения характера цели, что имеет большое значение для подразделений пехоты, имеющих на вооружении противотанковые гранатометы (рис. 93).

Аналогичную задачу выполняет теплопеленгатор в пассивном прицеле BM8025, установленном на БМП «Мардер» (рис. 94). Индикатор теплопеленгатора, выполненный в виде шахматного растра, позволяет обнаруживать одну или несколько теплоизлучающих целей, находящихся в поле зрения прицела, путем индикации тепловых отметок в окуляре наводчика. При этом возможность точного прицеливания для поражения цели определяется положением тепловой отметки цели в зоне прицельной марки пассивного прицела BM8025, так как теплопеленгатор не воспроизводит изображение цели.

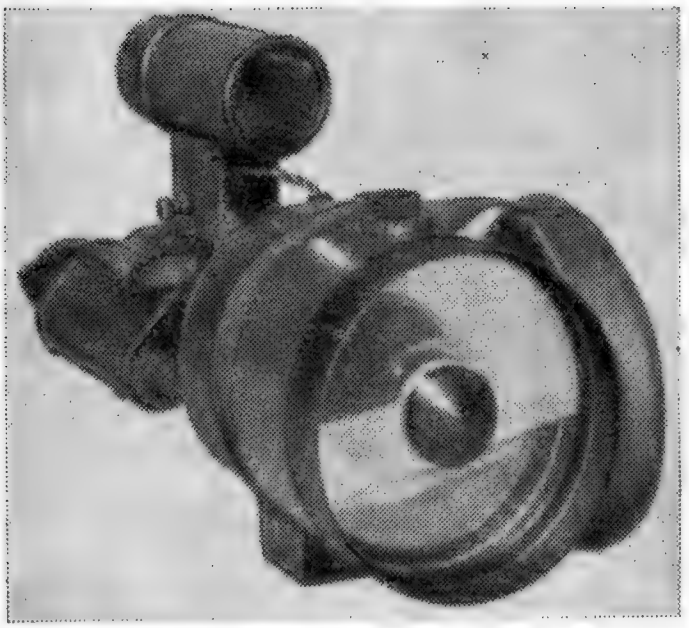


Рис. 93. Наблюдательный пассивный прибор BN21 с пироэлектрическим теплочувствительным детектором WZ1 для разведки теплоизлучающих целей

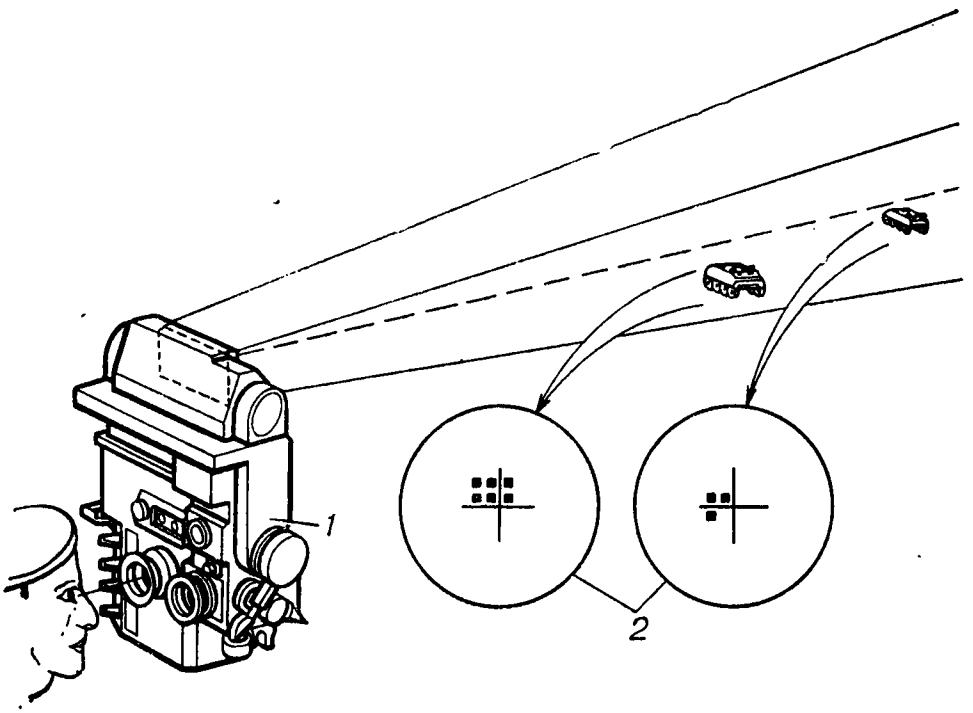


Рис. 94. Принцип действия теплопеленгатора БМП «Мардер»:
1 — теплопеленгатор; *2* — теплообнаружительный растр в поле зрения прибора

Приборы ИК- и белого света, которыми оснащаются средства БТТ бундесвера и других зарубежных стран, входящих в НАТО, зарубежные специалисты рассматривают как средство ослепления приборов и экипажей танков противника и средство целеуказания своим танкам.

Так, мотопехотный батальон бундесвера располагает 120-мм осветительными боеприпасами, выстреливаемыми из минометов. Действующие в пешем строю стрелки мотопехоты могут вести стрельбу 84-мм осветительными боеприпасами из тяжелых противотанковых гранатометов «Панцерфауст».

В целях повышения эффективности боевых действий в условиях ограниченной видимости тепловизионным прицелом оснащен западногерманский истребитель танков «Ягуар 1» с противотанковыми ракетами «Хот». ТВП встроен в штатную головку прибора наблюдения. Головка ТВП имеет противоосколочную защиту.

Другой истребитель танков — «Ягуар 2» имеет смонтированный снаружи тепловизионный прибор AN/TAS-4A и ведет прицельный огонь ракетами TOW. Взамен газовых баллонов системы охлаждения Джоуля—Томсона он снабжен холодильной машиной с замкнутым циклом с питанием от борта машины. Водители обеих машин пользуются приборами ночного вождения на ЭОП с УЯИ.

Так как в операциях, проводимых в условиях ограниченной видимости, большое значение. имеет момент внезапности, особое внимание при подготовке боевых действий уделяется разведке. В связи с этим на личный состав подразделений, имеющих на вооружении приборы наблюдения и разведки всех видов и классов, ложится большая ответственность, а это, в свою очередь, усложняет обучение и боевую работу в предоперационный период, который приходится в основном на ночное время, особенно тяжелое для личного состава.

Бронетанковые части бундесвера имеют на вооружении приборы ночного видения I и II поколений, сменившие активные ИК-приборы. Предполагается, что в последующие годы истребительно-противотанковые части для осуществления боевых операций в условиях ограниченной видимости будут использовать только пассивные ПНВ и особенно широко тепловизионные приборы.

В условиях ограниченной видимости повышение эффективности боевых операций можно будет достичь путем применения наземных приборов с различными датчиками, обеспечивающими автоматическое наблюдение за участ-

ками местности. Системы наблюдения такого типа должны комбинироваться с устройствами опознавания «свой — чужой».

В условиях ограниченной видимости большое значение имеет аппаратура навигационных приборов, устанавливаемых на командирских боевых машинах для точного ориентирования на местности с целью привязки боевых порядков, особенно там, где отходящий противник уничтожил ориентиры и топографические знаки.

Современные системы управления боевыми действиями используют различные компьютеры и индикаторы для определения наличия боеприпасов и топлива для машин, располагают всевозможными дисплеями, а также бортовой аппаратурой оперативной связи, облегчающей передачу данных разведки и ее прием.

7.3. Вспомогательные средства обеспечения боевых действий в ночных условиях

Боевая деятельность войск не прекращается ни в сумерки, ни ночью даже в тех случаях, когда нет активных действий: работают штабы, тянут телефонные провода связисты, ставят мины и чинят разрушенную переправу саперы, уходят в тыл противника разведчики, устанавливают точки отметок артиллеристы... Выполнение этих работ требует абсолютной скрытности, так как в ночное время любой яркий источник света вызовет огонь противника. Поэтому и устанавливается строгий световой режим, запрещающий использование открытых источников света, хорошо обнаруживаемых с далеких расстояний в оптические приборы, и особенно в ПНВ.

Однако существуют осветительные средства ближнего действия, практически не обнаруживаемые противником и в то же время обладающие яркостью, достаточной для выполнения многих работ. Такими источниками света являются тритиевые источники, или, как их еще называют, тритиевые светильники.

Тритиевый светильник (рис. 95) представляет собой стеклянную ампулу, внутренняя поверхность которой покрыта люминофором, в котором возбуждается свечение при уда-

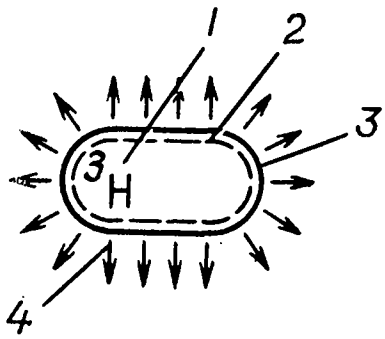


Рис. 95. Тритиевый светильник:
1 — газообразный тритий; *2* — слой люминофора; *3* — стеклянная ампула; *4* — видимый свет

ре электронов или бета-частиц, излучаемых радиоактивным изотопом водорода — тритием H^3, заполняющим ампулу. Газообразный тритий имеет период полураспада 12,26 года, что принимается за срок службы светильника. Так как длина пробега бета-частиц, излучаемых тритием, чрезвычайно мала, то тритиевая ампула не представляет опасности для живой природы, в том числе и для человека.

Разработанные английской фирмой «Саундерс» тритиевые светильники используются для чтения карт в полной темноте, снятия отсчетов со шкал измерительных приборов, установки взрывателей. Поскольку стеклянные ампулы для трития могут быть различной формы, тритиевые светильники применяются в качестве указателей направления движения и различного рода ориентиров, вех для обозначения минных полей и для других работ, где важнейшим условием является обеспечение скрытности.

Так как тритиевый светильник в зависимости от химического состава люминофора может излучать желтый, зеленый, оранжевый или красный цвет, т. е. почти всю цветовую гамму, обозначения тритиевых светильников мож-

Рис. 96. Ручной фонарь «Беталайт»

но закодировать, и, как результат, дезориентировать разведку противника.

Изображенный на рис. 96 ручной фонарь «Беталайт» имеет металлический обрезиненный корпус диаметром около 70 мм и длиной 75 мм. Его масса около 280 г. «Беталайт» снабжен шнурком для ношения на шее. Прибор сохраняет работоспособность в широком интервале температур (от +70 до минус 60° С). Дальность обнаружения прибора по его свечению в ночное время (при прямом наблюдении) — не более 200 м.

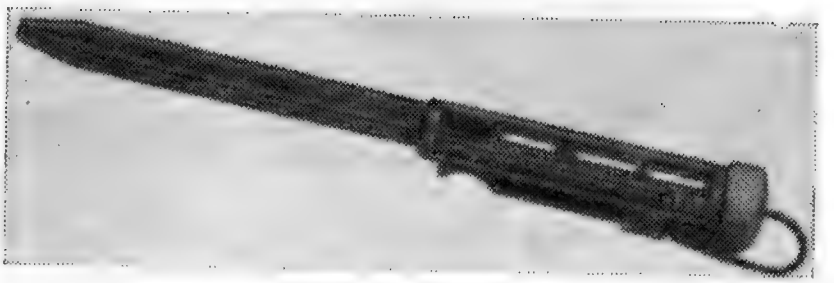


Рис. 97. Ночная указка «Беталайт»

Другой светильник, выполненный в виде указки (рис. 97), имеет длину 230 мм, диаметр 12 мм, а массу всего 60 г. Он применяется для подсветки углубленных предметов и в качестве светоуказателя направления движения, а также для подачи условных знаков, невидимых неприятелю. Предельная дальность обнаружения свечения указки в ночное время не превышает 25 м.

Как известно, одной из проблем применения оптических приборов с подсветкой прицельных марок и шкал при наблюдении и стрельбе в ночное время является проблема источника питания ламп накаливания. Широко применяемые в военной технике источники питания имеют определенный ресурс работы, по израсходовании которого источник тока подлежит зарядке или замене. Однако в условиях боевых действий трудно контролировать степень израсходованной энергии, в результате стрелок или разведчик может оказаться ночью в критическом положении и не выполнить свою задачу. И здесь применение тритиевых источников подсветки прицельной шкалы, представляющих собой, по существу, «вечный» источник, вполне оправдано, так как 12-летний период полураспада трития является надежной гарантией «вечности» светильников, тем более что и в дальнейшем тритиевый светильник практически не снижает своих качеств.

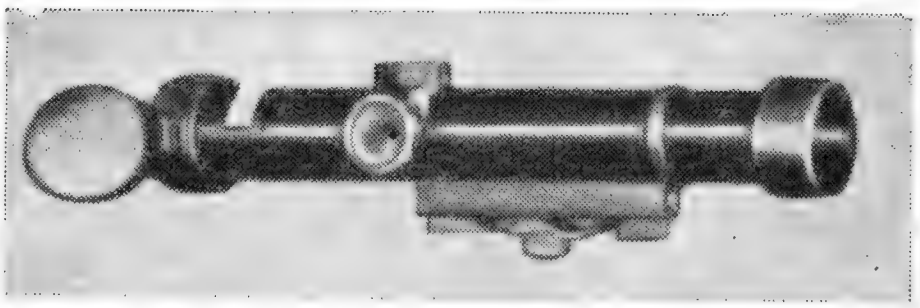


Рис. 98. Снайперский прицел с тритиевой подсветкой прицельной шкалы для обеспечения ночной стрельбы из штурмовой винтовки М16

На рис. 98 изображен снайперский прицел к винтовке М16, состоящий на вооружении армии Великобритании, в котором в качестве подсветки прицельной шкалы используется тритиевая ампула, что обеспечивает возможность круглосуточного использования прицела (освещение его прицельной шкалы).

Артиллерийские и минометные подразделения для работ в ночное время имеют фонарь точки отметки для ночной стрельбы артиллерии и минометов, называемый «Беталайт», как и все осветительные приборы такого типа. Артиллерийский фонарь выпускается в двух цветах: зеленом и оранжевом, что позволяет устанавливать точки отметки разного цвета для разных орудий и, таким образом, исключить ошибку в наводке орудий. Фонарь точки отметки имеет приспособление для крепления на мачте или шесте. Его размеры: длина 72 или 75 мм, включая крышку, толщина 70 мм, включая защелку крепления, диаметр 45 мм. Масса фонаря 230 г. Дальность различения фонаря в ночное время 200 м. Артиллерийский фонарь точки отметки «Беталайт» представлен на рис. 99.

На рис. 100 изображена карта, освещенная светом специального фонаря, выпускаемого фирмой «Саундерс» для чтения карт в ночных условиях. Фонарь имеет длину 85 мм, ширину 65 мм, толщину 50 мм. Масса фонаря 200 г. Цвет свечения — желтый.

Большое распространение получил тритиевый дорожный указатель, изображенный на рис. 101. Стрелка указателя может устанавливаться в восьми угловых положениях с интервалом 45°. Благодаря черному цвету поля светящаяся стрелка хорошо различима на расстоянии 100 м. Крепежные устройства знаков позволяют устанавливать их на шесте, стенке и других предметах, предназначенных

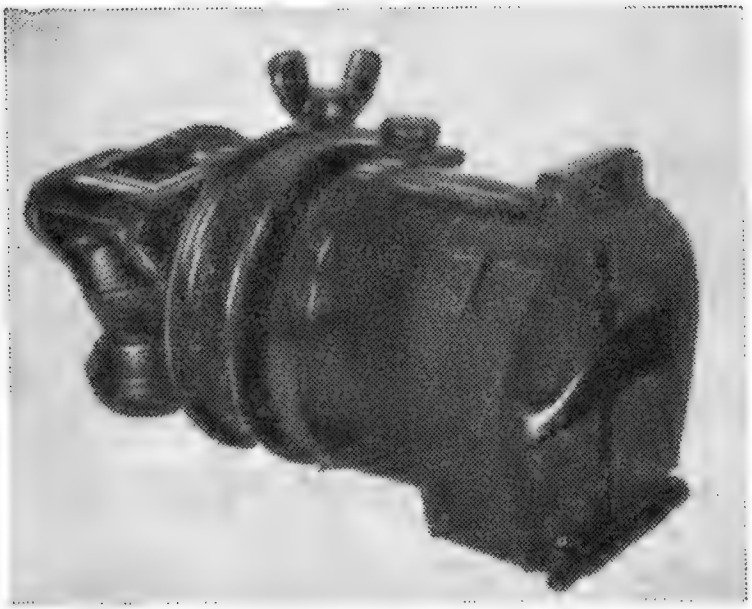


Рис. 99. Артиллерийский фонарь — ночная точка отметки «Беталайт»

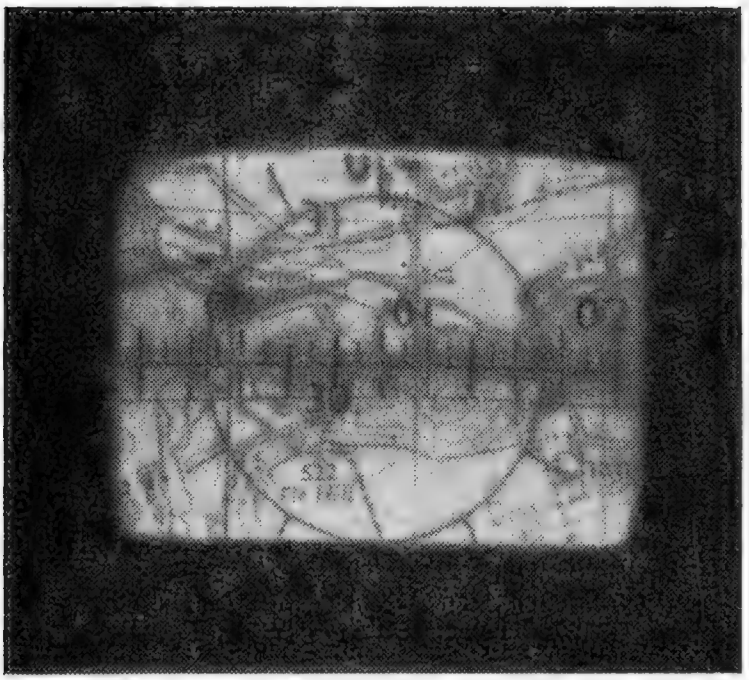


Рис. 100. Участок, освещенный тритиевым фонарем для чтения карт

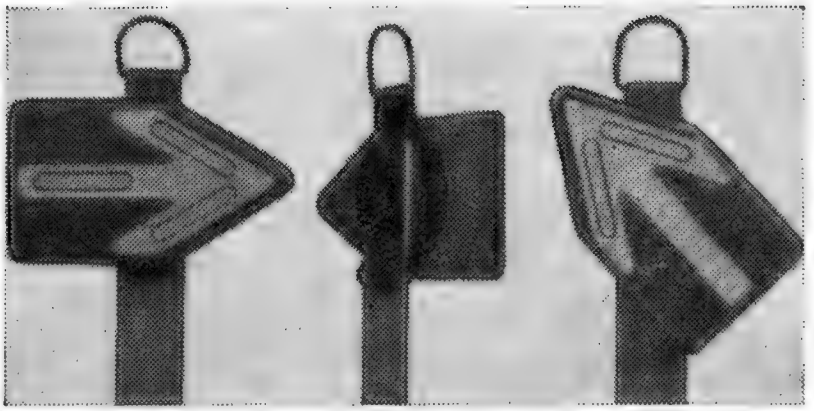


Рис. 101. Светящийся тритиевый дорожный указатель

для этой цели. Габаритные размеры дорожных указателей «Бсталайт» 130×70 мм. Толщина знака 27 мм, масса 170 г. Дорожные знаки ясно различаются в звездную ночь на расстоянии 100 м.

Особенностью описанных приборов является чрезвычайная простота их устройства и эксплуатации в течение длительного времени без подзарядки, без какого-либо технического обслуживания, а также высокая надежность и безотказность в течение всего срока службы в условиях, близких к экстремальным.

Другой областью использования тритиевых источников света являются всякого рода шкалы в прицелах и угломерительных приборах, где вместо применявшихся ранее радиоактивных светосоставов длительного действия вмонтированы миниатюрные ампулы с тритием, что существенно повысило срок службы светящихся шкал и одновременно обеспечило безопасность операторов в отношении воздействия радиации, что наблюдалось при работе с приборами, имевшими радиоактивные светосоставы.

8. ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ ВИДЕНИЯ В НАУКЕ И ТЕХНИКЕ

8.1. Общие сведения

В военных целях оптико-электронные приборы, действующие в условиях ограниченной видимости, — приборы ночного видения и тепловизионные приборы — применяются для наблюдения поля боя и объектов на нем и ведения по ним прицельного огня, а также для беспрепятственного движения транспортных средств по воде и суше и летательных аппаратов в воздухе ночью и днем в плохих погодных условиях и в условиях применения противником активных и пассивных средств противодействия и маскировки. При этом схема построения военных приборов не отличается разнообразием: объектив — преобразователь невидимого изображения в видимое — окуляр.

Приборы, применяемые в мирных целях, иногда используются самостоятельно, но в большинстве случаев являются частью какой-либо установки, агрегата, сложного прибора, решая задачу наблюдения какого-либо процесса или его регистрации в спектральных областях, недоступных невооруженному глазу человека, или в условиях освещенностей, уровень которых ниже чувствительности зрения человека. Поэтому полученные с помощью этих приборов результаты в ряде случаев носят промежуточный характер и могут быть реализованы лишь после обработки. Исключение составляют тепловизионные приборы, используемые в медицине в качестве средства диагностики, где помимо записи какого-либо процесса можно вести его наблюдение в реальном масштабе времени, как и в военных приборах. Что же касается приборов ночного видения с электронно-оптическими преобразователями, то в таких областях науки, как астрономия, экспериментальная физика, ядерная физика, используются только электронно-оптические преобразователи в сборе с высоковольтными

источниками питания, поскольку остальные элементы для наблюдения процессов и их регистрации имеются в самих установках.

Зарубежная печать, пропагандируя военную доктрину НАТО о военном превосходстве над странами, входящими в состав Варшавского Договора, и публикуя материалы о миллиардных затратах на разработку и производство приборов ночного видения и тепловизионных приборов, создает искаженное представление о масштабах разработки и производства оптико-электронных приборов военного назначения по сравнению с такими же приборами для мирных целей. Ведь для того чтобы перечислить области применения военных приборов и решаемые ими задачи, достаточно нескольких строк, в то время как перечисление областей применения одних только тепловизионных приборов и решаемых ими задач в науке и технике займет несколько страниц. При этом задачи, решаемые оптико-электронными приборами, служат прогрессу в медицине в борьбе за избавление человечества от страшных болезней, позволяют заглянуть в тайны материи и глубины космсса, помогают в решении простых и в то же время очень сложных по реализации повседневных задач в народном хозяйстве, научных исследованиях и в быту.

8.2. Тепловизионная аппаратура в мирных целях

8.2.1. Тепловизионные приборы в науке и технике

Как уже известно, преимущество тепловизионного способа наблюдения тел в спектре их собственного излучения состоит прежде всего в абсолютной пассивности тепловизионного способа наблюдения тел, температура которых отличается от абсолютного нуля, что особенно важно в такой области применения тепловидения, как медицина. Тепловизионные приборы, применяемые в науке и технике, по способу регистрации изображения подразделяются на несканирующие и сканирующие.

У несканирующих приборов изображение появляется путем одновременного преобразования невидимого изображения всех элементов тепловой картины в видимое. Однако этот процесс происходит не мгновенно, а в течение какого-то промежутка времени, у одних приборов довольно медленно, у других — быстро.

Наиболее известными приборами этого типа являются эвапорограф и термооптический преобразователь на аморфном селене. Эвапорограф, изобретенный немецким ученым Черни в 1929 г., основан на использовании эффекта испарения тонкой масляной пленки под действием теплового излучения. Он обладает широкой спектральной чувствительностью, ширина полосы которой определяется практически прозрачностью входного окна и приемлемой для работы в лабораторных условиях разрешающей способностью около 15 штр/мм. Однако время построения изображения исследуемого объекта 10 с и громоздкость аппаратуры исключают применение эвапорографа для наблюдения и регистрации картины, изменяющейся в пространстве и времени, в частности живых объектов.

Другой несканирующий прибор — преобразователь теплового изображения с длиной волны 1—19 мкм, также определяемой спектральным пропусканием входной оптики, получил название термооптического преобразователя— ТОП. Действие ТОП основано на смещении края поглощения тонкой пленки из аморфного селена в зависимости от температуры. Прибор обеспечивает наблюдение предметов с разрешающей способностью 2 штр/мм и температурной чувствительностью 7° С (у эвапорографа 0,5° С). Постоянная времени ТОП — 0,5 с обеспечивает возможность регистрации объектов, движущихся с невысокой скоростью.

Казалось бы, что ТОП, как и эвапорограф, не имеет перспектив использования. Однако американец Винцент Т. Блай получил в 1979 г. патент на термооптическую систему для дальней ИК-области с прямым преобразованием ИК-изображения предметов в видимое. В отличие от известных уже преобразователей Блай предложил прибор с двухступенчатым процессом преобразования, так как в ранее разработанных преобразователях не обеспечивался достаточный для визуализации коэффициент усиления и контраст. Новая термооптическая система предусматривает не только преобразование теплового изображения в видимое, но и усиление яркости изображения за счет использования электронно-оптического усилителя.

Сущность предлагаемой термооптической системы для дальней ИК-области иллюстрируется рис. 102 и состоит в следующем. Длинноволновое ИК-излучение фокусируется на термооптическом преобразователе через модулятор, благодаря чему ИК-изображение содержит сигнал, изменяющийся во времени и пропорциональный в локальном

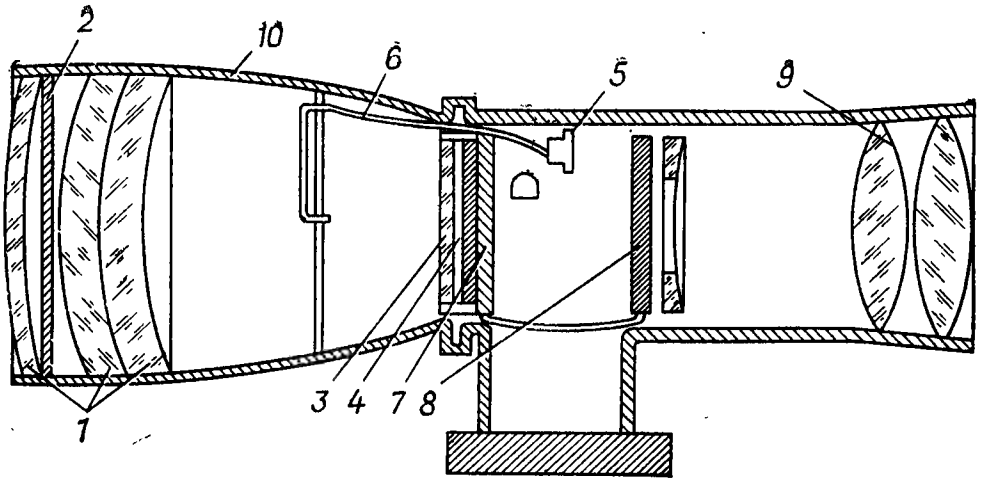


Рис. 102. Несканирующий термооптический преобразователь (автор Винцент Т. Блай):

1 — ИК-объектив; *2* — модулятор; *3* — защитное окно; *4* — пленка из аморфного селена — преобразователь; *5* — лазерный светодиод подсветки плеики; *6* — светопровод; *7* — детекторная матрица; *8* — дисплей с полевой линзой окуляра; *9* — линзы окуляра; *10* — корпус прибора

отношении разности температур элементов картины к температуре в состоянии «Выключено». Селеновая пленка-преобразователь, освещаемая считываемым пучком, имеет край поглощения, сдвигающийся в зависимости от температуры, вследствие чего возникает изображение, состоящее из темных и светлых частей, отвечающих распределению температур наблюдаемой картины. Изображение, возникающее на селеновой пленке, усиливается системой отображения, работающей в режиме переменного тока, в результате чего усиливается только переменная составляющая сигнала. При этом оптический уровень фона подавляется и формируется контрастный сигнал, подаваемый на дисплей для наблюдения картины в окуляр.

Хотя автор описал преобразователь на аморфном селене, в качестве материала преобразователя для ТОП могут быть использованы пленки на иодате свинца и ртути, хлористой меди и краситель — родамин С.

В настоящее время в литературе нет сведений о применении прибора в качестве дефектоскопа для неразрушающего контроля изделий или в медицине. Возможно, прибор используется в системах «Флир», поскольку автор изобретения выступал со статьей «Новые концепции «Флир».

Тем не менее вариант реализации несканирующего тепловидения, который предложил Винцент Т. Блай, использует электронное считывание и усиление преобразованной

тепловой картины, что значительно ближе к сканирующему тепловидению, чем эвапорограф.

В настоящее время несканирующее тепловидение является конечной целью в эволюции тепловидения — третьим поколением, предшественниками которого являются сканирующие тепловизоры, использующие в качестве фотоприемника линейки и матрицы детекторов (I поколение ТВП), и тепловизоры на Спрайт-приемнике (II поколение ТВП).

8.2.2. Тепловидение в медицине

Чувствуя недомогание, человек чаще всего обращается к термометру, так как температура тела, за исключением повреждений или других ярко выраженных признаков заболевания, является достаточно надежным индикатором, к которому обращается человек в случае нездоровья. И действительно, отклонение температуры тела от нормальной свидетельствует о заболевании. «Я болен», — говорит человек, когда видит столбик ртути выше границы, отмеченной на шкале термометра красной точкой. И он прав: повышение температуры тела — первый признак болезни.

Но существует множество болезней, когда температура тела, измеренная термометром, не превышает норму, а человек болен. Человеческий организм — очень сложный биологический комплекс, в котором каждый орган, выполняя функции, необходимые для жизнедеятельности всего огранизма в целом, имеет свои особые точки — индикаторы, где отклонение температуры от нормы означает заболевание. Однако измерение температуры отдельных участков тела практически невыполнимо, так как, во-первых, требуется затратить много времени, чтобы выявить очаг заболевания и определить его характер, во-вторых, такими термометрами медицина не располагает. К тому же любая болезнь, вызывающая изменение температуры тела, требует сравнительно высокой точности измерения: широко распространенные термометры для измерения температуры тела позволяют измерять десятые доли градуса, столь необходимые врачу.

Необходимость разработки неконтактного способа измерения температуры тела человека и его отдельных участков с достаточным температурным и линейным разрешением стала проблемой во второй половине XX в. в связи с распространением злокачественных опухолей и новообразований, заболеваний ног, детских болезней. К счастью,

этот период совпал с подъемом разработок и исследований невидимого инфракрасного диапазона, и особенно его длинноволновой области, наиболее интересной для создания приборов, обеспечивающих регистрацию теплового излучения живых организмов, в частности человека.

Такими приборами стали тепловизоры. В разработке тепловизоров невоенного назначения большую роль сыграли работы по созданию фотоприемников, чувствительных в ближней, средней и дальней ИК-областях, криогенной техники, рассчитанной на глубокое охлаждение, оптических материалов для длинноволнового диапазона, эффективных систем сканирования и считывания сигналов, а в последние десятилетия — обширной номенклатуры электронных средств обработки, хранения и воспроизведения информации, полученной путем наблюдения слабонагретых объектов, к которым относится и человек. Вот почему получили интенсивное развитие такие области невоенного тепловидения, как медицинская, технологическая, неразрушающего контроля, экологии и охраны природы, разведки полезных ископаемых, живой природы и космоса.

В Советском Союзе работы по созданию тепловизоров для медицины были начаты В. И. Архангельским и П. В. Тимофеевым во Всесоюзном электротехническом институте, однако серьезные успехи в области разработки тепловизионных приборов для медицины, промышленности, изучения природных ресурсов и охраны природы были достигнуты М. М. Мирошниковым и его сотрудниками, создавшими приборы, успешно реализованные в промышленном производстве. Ими же организовано широкое оснащение медицинских и промышленных предприятий тепловизионными приборами, обеспечивающими раннюю диагностику тяжелейших заболеваний, и высокоэффективными средствами неразрушающего контроля.

Тепловизионные приборы для медицины и других применений подразделяются на низкоскоростные, среднескоростные и быстродействующие.

Представителями низкоскоростных тепловизоров являются тепловизор «Оптитерм» (США) и советский тепловизор «Рубин» (в последней модификации «Рубин-3»). Эти приборы используют одноэлементный приемник. В тепловизоре «Оптитерм» применен неохлаждаемый полупроводниковый болометр, в тепловизоре «Рубин-3» — фотосопротивление из сурьмянистого индия, охлаждаемое жидким азотом. «Оптитерм» образует кадр в течение 30 с и обладает высоким температурным разрешением 0,05° С, а

«Рубин-3» сканирует кадр в течение 40 с при 240 строках на кадр; температурное разрешение его 0,1° С.

Система регистрации изображения тепловизора «Оптитерм» предусматривает жесткую синхронизацию качающегося зеркала, сканирующего кадр, со световым пятном от источника света, проецируемым на обратную сторону сканирующего зеркала, отражаясь от которого луч производит запись сигнала на фотопленке. При этом степень почернения пленки зависит от уровня сигнала, вырабатываемого приемником при сканировании, что позволяет создать на снимке картину распределения температуры на рассматриваемом объекте. Оптическая схема тепловизора «Оптитерм» приведена на рис. 103.

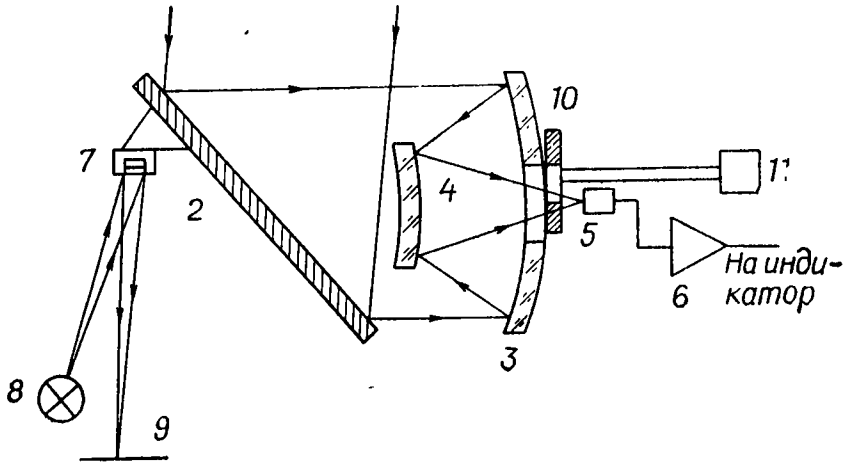


Рис. 103. Структурная схема тепловизора «Оптитерм»:
1 — излучение от объекта; *2* — сканирующее зеркало; *3* — параболическое зеркало; *4* — гиперболическое зеркало; *5* — приемник излучения; *6* — предусилитель; *7* — плоское зеркало; *8* — источник света; *9* — регистрирующая пленка; *10* — модулятор; *11* — двигатель

Советский тепловизор «Рубин-3» использует аналогичный принцип сканирования, однако является более удобным в эксплуатации, так как регистрация изображения на электрохимической бумаге ЭХБ-4 позволяет наблюдать термограммы сразу же по окончании формирования кадра. При этом термограмма благодаря цифровому отсчету уровня температур дает возможность определять температуру в любой точке изображения (рис. 104).

Тепловизоры «Оптитерм» и «Рубин-3» используются в медицине для диагностики ряда заболеваний, таких, как рак молочной железы, катаракта, закупорка вен и варикозное расширение вен. Они позволяют контролировать процесс заживления ран, осуществляют раннюю диагно-

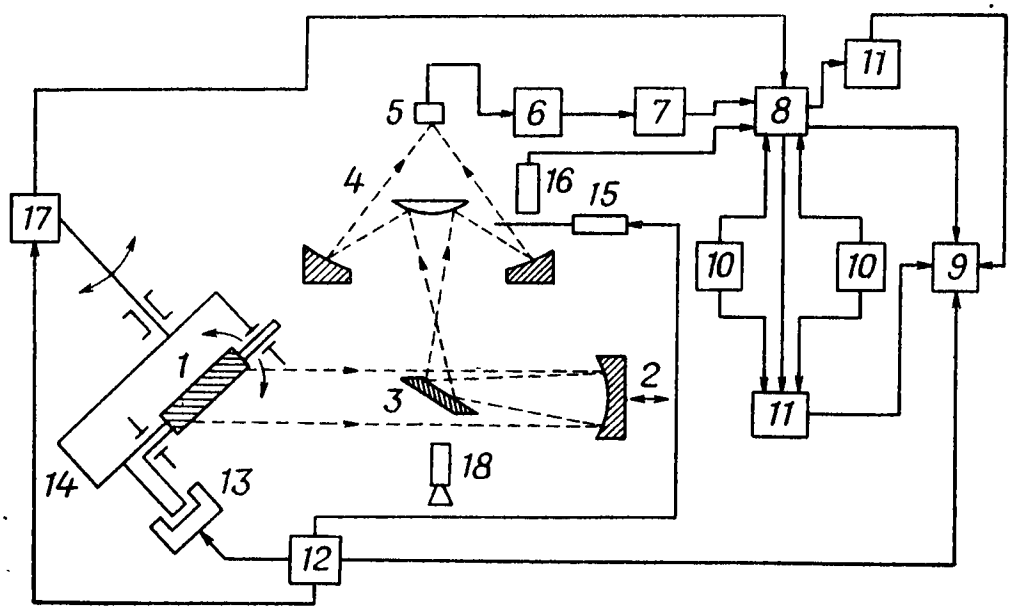


Рис. 104. Структурная схема тепловизора «Рубин-3»:

1 — сканирующее зеркало; *2* — зеркальный объектив; *3* — плоское зеркало; *4* — конденсор; *5* — приемник излучения; *6* — предусилитель; *7* — фильтр; *8* — блок усиления и привязки; *9* — регистрирующее устройство; *10* — аттенюаторы; *11* — цифровые анализаторы; *12* — синхронизатор; *13* — генератор колебаний; *14* — торсион; *15* — обтюратор; *16* — фотодиод; *17* — привод; *18* — визир

стику предынфарктного состояния, дают возможность оптимального выбора места для ампутации.

С развитием тепловизионной техники, ее совершенствованием и расширением производства тепловизоров область их применения в медицине значительно расширилась: онкология, гастроэнтерология, ортопедия, ревматология, пульмонология, урология, педиатрия. Каждая из этих областей медицины включает длинный перечень конкретных заболеваний, диагностируемых с помощью тепловизоров, в частности заболеваний артерий нижних конечностей, заболеваний грудной железы у мужчин. Тепловидение стало применяться в дифференциальной диагностике острых хирургических заболеваний (почки), детских болезней (артрология), диагностике ревматических заболеваний.

Дальнейшее совершенствование тепловизионной аппаратуры для медицины шло в направлении обеспечения ее быстродействия с целью возможности наблюдения процессов в реальном масштабе времени, улучшения характеристик тепловизионной аппаратуры по угловому и температурному разрешению. Для тепловизоров с одноэлементным приемником модернизация состояла в увеличении скоро-

сти сканирования путем применения вращающихся зеркальных многогранников или строчной и кадровой разверток на двух вращающихся пропускающих призмах (как это было осуществлено в шведском тепловизоре AGA-680) и с помощью сканирующего зеркала и вращающейся пропускающей призмы из монокристалла кремния (в советском тепловизоре БТВ-1).

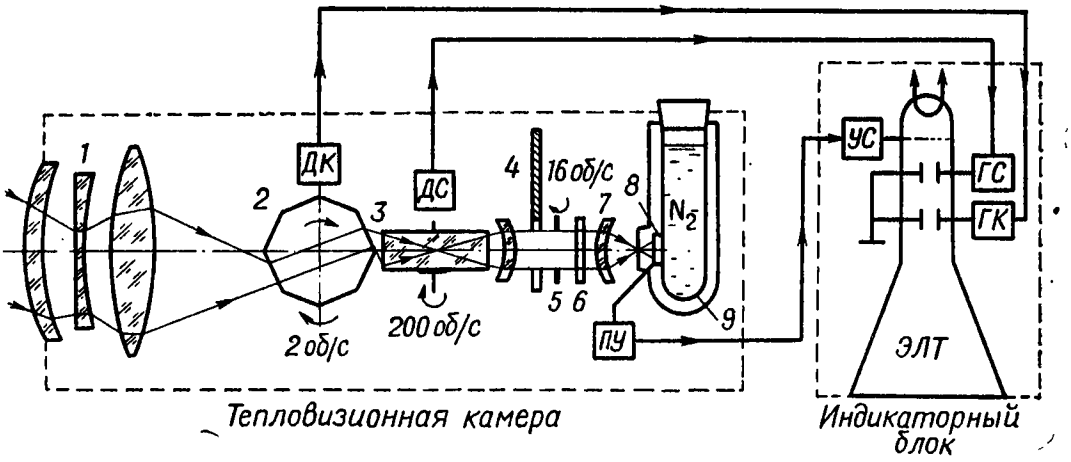


Рис. 105. Структурная схема тепловизора AGA-680:

1 — объектив; *2* — кадровая призма; *3* — строчная призма; *4* — прерыватель; *5* — диафрагма; *6* — фильтр; *7* — германиевая линза; *8* — приемник излучения из сурьмяиистого индия; *9* — дьюар с жидким азотом

Тепловизор AGA-680, представленный на рис. 105, включает два блока: тепловизионную камеру и видеоблок. Тепловизионная камера имеет на входе объектив из поликристаллического кремния. Сканирующие призмы изготовлены из германия. Восьмигранная призма *3*, вращающаяся с частотой 200 об/с, осуществляет строчную развертку, а кадровая *2* с частотой 2 об/с обеспечивает частоту сканирования 16 Гц, достаточную для наблюдения движущихся объектов в реальном масштабе времени с помощью ВКУ на ЭЛТ. Изображение объекта наблюдается в виде картины, состоящей из светлых и темных участков; светлые участки соответствуют теплым участкам объекта, темные — холодным. Температурное разрешение тепловизора 0,2° С при температуре объекта наблюдения 300 К. Приемник тепловизора AGA-680 — фотосопротивление из антимонида индия, охлаждаемое жидким азотом, что обеспечивает эксплуатацию тепловизора в течение 4 ч.

Советский тепловизор ТВ-03 (БТВ-1), оптическая схема которого показана на рис. 106, предназначается для определения локального перегрева биологических объек-

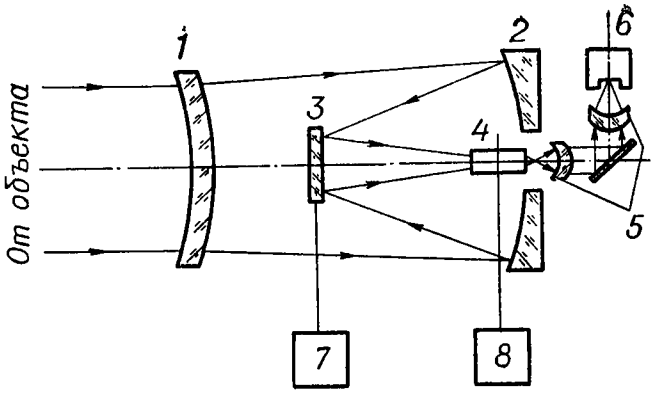


Рис. 106. Структурная схема тепловизора ТВ-03 (БТВ-1):

1 — входная линза (сменная); *2* — параболическое зеркало; *3* — плоское сканирующее зеркало; *4* — сканирующая призма; *5* — линзы; *6* — приемник излучения; *7* — зеркало кадровой развертки; *8* — восьмигранная призма строчной развертки

тов. Он отличается хорошей разрешающей способностью по температуре, равной 0,2° С, и быстродействием — 16 кадров/с. В его комплект входят две насадочные линзы для уменьшения рабочего расстояния до минимального (0,8 м) и увеличения его в 1,3 раза. При этом плоскость предмета располагается на расстоянии 170—240 мм от вершины внешней поверхности линзы. Третья линза, изготавливаемая из германия, обеспечивает поле зрения 13×13 мм (для локальных областей). Индикатором служит ЭЛТ типа 11ЛК1Б, на которой воспроизводится тепловой сигнал. Тепловизор имеет электронное устройство для измерения температуры в выбранной точке поля, наблюдаемой в тепловизор. Кроме того, в тепловизоре ТВ-03 имеется ВКУ цветного изображения наблюдаемой картины, необходимое для лучшего различения минимальных перепадов температур. При этом цветовая индикация обеспечивает высокое разрешение с большей скоростью, чем черно-белая, что снижает утомляемость оператора при массовых профилактических осмотрах. Разрешающая способность повышается также за счет выбора соседних цветов, что делает изображение более контрастным. Располагая 10-цветным изображением, оператор имеет возможность передавать значительные перепады температуры, которые между отдельными цветами достигают 0,2° С, что имеет большое значение в диагностике заболевания.

Как и военное тепловидение, тепловидение в медицине развивается в направлении создания тепловизоров с мно-

гоэлементными приемниками с целью повышения температурной чувствительности или быстродействия.

Зарубежные фирмы изготавливают тепловизоры с приемниками на 10 и 100 элементах, получая при поле зрения прибора 20×10 град угловое разрешение 1 мрад, а по температуре — 0,3° С.

В Советском Союзе разработан тепловизор «Радуга МТ» с цветным изображением с частотой кадров 25 Гц, достаточной для воспроизведения движущихся картин при поле зрения 20×18 град, мгновенном угле 7 угл. мин и температурном разрешении 0,2° С. Прибор «Радуга МТ» имеет ВКУ с цветным градуировочным клином, а на чернобелом ВКУ отмечаются диапазон регистрируемых температур, номер кадра и температура в точке.

8.2.3. Тепловидение в народном хозяйстве

Тепловизионная аппаратура, применяемая в народном хозяйстве, по элементам и составу практически не отличается от тепловизионной аппаратуры, используемой в медицине, так как в основе ее применения лежит тот же метод измерения тепловых полей и отыскания неоднородностей, свидетельствующих о каких-либо нарушениях или изменениях, являющихся либо отрицательным, либо положительным явлением в зависимости от характера поставленной задачи. Впрочем, сказанное выше относится к сфере, где дистанция между объектом наблюдения и тепловизионным прибором невелика, где объект перемещается со скоростью, отвечающей кадровой частоте прибора наблюдения. В ряде случаев решение народнохозяйственных задач требует применения тепловизионной аппаратуры военного назначения с большой дальностью действия, высоким разрешением, действующей в широком интервале температур, отличающейся высокой прочностью и надежностью.

В процессе разработки медицинских тепловизоров М. М. Мирошниковым, основателем и руководителем этого направления в Государственном оптическом институте им. С. И. Вавилова, была поставлена задача оказать помощь промышленным предприятиям Ленинграда в решении некоторых проблем дефектоскопии, крайне важных для выпуска надежной продукции.

Так, в процессе производства и при эксплуатации электрических машин большой мощности появлялись дефекты в виде нарушения лаковой изоляции между листами активной стали, что вызывало локальный нагрев статоров

турбогенераторов и синхронных компенсаторов. Разработанный Государственным оптическим институтом тепловизор-дефектоскоп «Статор-1» позволил обнаруживать дефекты еще в процессе изготовления электрических машин и при проведении профилактических ремонтов на тепловых электростанциях. Это обеспечило в короткий срок выявление дефекта изоляции и его устранение, а следовательно, и экономию значительных средств.

Тепловизор-дефектоскоп «Статор-1» обеспечивает температурное разрешение 1° С при окружающей температуре +20° С и линейное разрешение не более 5 мм для статоров диаметром до 1,5 м и 10 мм для статоров диаметром до 3 м. Диапазон расстояний при дефектоскопии статоров электрических машин в пределах от 45 см до 1,5 м, при этом мощность, потребляемая тепловизором, не превышает 300 Вт.

Большое значение в технике неразрушающего дистанционного контроля имеет способ проверки опорной и подвесной изоляции, а также контактных соединений на подстанциях и на высоковольтных линиях, когда с помощью тепловизионной аппаратуры проверяется состояние высоковольтных изоляторов на линиях электропередачи. Применение этого метода позволяет вести дистанционный контроль, не прибегая к обесточиванию линий. Исследования показали, что для дефектоскопии контактных соединений нет необходимости применять сложные тепловизионные приборы. Такие работы могут осуществляться более простым устройством чувствительностью 0,1° С, имеющим выход на стрелочный прибор.

С помощью тепловизора проводится дефектоскопия слоистых материалов путем наблюдения температурных неоднородностей на их поверхности, вызванных неравномерной теплопередачей при нагреве, что имеет большое значение для материалов, применяемых в высоковольтной технике, а также для строительных материалов.

Неоценимые качества тепловизионного метода дефектоскопии состоят в отсутствии непосредственного контакта теплочувствительной аппаратуры с исследуемым образцом и в обеспечении тем самым абсолютной пассивности измерения, а также в простоте контроля, когда результаты получаются непосредственно в ходе его осуществления. Поэтому особое значение приобрел метод неразрушающего контроля в дефектоскопии обширной номенклатуры приборов радиоэлектронной аппаратуры, где сведения о наличии «горячих» точек в процессе производства и эксплуата-

ции приборов являются бесценными. Здесь контроль может осуществляться как обычными тепловизорами, так и тепловизорами-микроскопами, где наблюдение тепловых полей микроэлектронных блоков и микроэлектронной аппаратуры ведется с помощью насадок для микроскопии к тепловизору, как это имеет место в тепловизионной аппаратуре AGA-680. Разрешающая способность в аппаратуре такого рода лежит в пределах от 0,06 до 8° С в зависимости от величины температуры наблюдаемого объекта в интервале от 250 до 1100 К.

Так как изделия микроэлектроники состоят в основном из полупроводниковых приборов, где температура является одним из наиболее важных факторов, влияющих на их технические параметры и срок службы, исследование температурных полей не может осуществляться обычными способами вследствие малых габаритных размеров, незначительной рассеиваемой мощности и невысокой рабочей температуры. Поэтому применяемый для этой цели ИК-микроскоп с четырьмя сменными объективами с увеличением 10, 16, 25 и 40 крат и фотоприемником на сурьмянистом индии, охлаждаемым жидким азотом, не содержит оптико-механических систем сканирования. Последовательный просмотр миниатюрных изделий электронной техники осуществляется сканированием предметного столика, перемещаемого блоками программного управления по траектории, имеющей вид гребенки. Полученные данные — уровень теплового излучения и координаты контролируемых точек — вводятся в ЭВМ и регистрируются на бумажной ленте с помощью цифропечатающего устройства.

Из приборов, применяемых в микроэлектронике, можно назвать анализатор тепловых полей АТП-11, действующий в температурном интервале от 20 до 60° С, с чувствительностью 0,8° С на уровне 30° С. Линейное разрешение прибора — не хуже 100 мкм, поле обзора 13×13 мм. Время воспроизведения кадра 5 с.

В настоящее время тепловизионный контроль в народном хозяйстве ведется в следующих областях:

в строительстве, где применяются плоские элементы и ограждающие конструкции зданий, с целью выявления отклонений в технологии: неравномерности бетонной смеси из-за плохого перемешивания, неравномерности распределения бетона при формовании панелей, скрытых и явных трещин в теле бетона, вызванных усадкой;

в строительстве дорог и взлетно-посадочных полос аэ-

родромов с целью проверки качества асфальтобетонных покрытий и выявления скрытых дефектов;

в жилищном строительстве для определения надежности теплоизоляции и выявления дефектов в стеновых материалах; дефектоскопии архитектурных сооружений, в том числе памятников старины;

в машиностроении для дефектоскопии пайки, сварки, болтовых соединений, нагрузочной способности зубчатых пар в низкомодульных редукторах;

в авиастроении для определения дефектов в материалах и конструкциях при статических и динамических испытаниях и аэрофизических измерениях;

в металлургической, шинной, нефтехимической, бумажной, резиновой промышленности; при производстве стекла и пластмасс; для контроля мощного энергетического оборудования; при поиске утечек в теплораспределительных системах; при процессах теплопередачи, горения, естественной конвекции;

в геологии и геофизике для определения тепловых свойств горных пород и руд, для выделения областей различных минеральных образований;

в промышленном строительстве для контроля тепловых утечек и контроля защиты на тепловых и атомных электростанциях, контроля утечек в системах теплофикации и охлаждения коммуникаций электростанций.

8.2.4. Тепловидение в авиации

В военной авиации тепловидение появилось значительно раньше, чем в сухопутных войсках, что объясняется значительными габаритными размерами, массой и энергопотреблением первых образцов тепловизионной техники, которые можно было разместить на таких носителях, как самолеты и вертолеты. Так, в конце 50-х годов были разработаны первые образцы тепловизионной аппаратуры со строчной разверткой AN/VAS-5 для топографической аэрофотосъемки в ИК-лучах, которые были размещены на радиоуправляемом самолете армии США. Развертка по кадру в этой аппаратуре осуществляется движением самого носителя — самолета.

В настоящее время выполнение задач тепловизионной разведки и наблюдения реализуется системой RS-700, действующей в диапазоне 8—14 мкм, где атмосферные помехи минимальны. Система использует в качестве детектора теллурид кадмия и ртути, что и в ТВП для сухопутных

войск, и систему охлаждения замкнутого типа по циклу Стирлинга. Детекторная матрица этой аппаратуры состоит из 6 элементов: в два ряда по 3 элемента в каждом. Температурная чувствительность аппаратуры 0,3° С при линейном разрешении 1,5—2 мрад. Общее поле зрения при движении носителя составляет 120 град. Запись изображения ведется на пленку, а также рассматривается наблюдателем на ЭЛТ ВКУ.

Невоенное применение тепловизионной аэросъемки чрезвычайно обширно, так как весьма ценные свойства средневолнового и длинноволнового ИК-диапазонов обеспечивают возможность наблюдения тепловой картины местности и ландшафта, насыщенной богатой информацией, по сравнению с обычной аэрофотосъемкой в видимой области спектра.

К числу задач, решаемых с помощью тепловизионной аэросъемки, относятся: распределение географических зон, геофизические исследования, разведка полезных ископаемых, ледовой обстановки в арктических областях, природоохранительные мероприятия, изучение природных ресурсов, исследования тепловых процессов, происходящих как на поверхности почвы, так и на некоторой глубине, наблюдение за деятельностью вулканов, состоянием лесных массивов, разведка экологической обстановки в целях принятия природоохранных мероприятий, миграция животных в зоне их обитания, влияние деятельности человека на природу и многое другое.

Изучением природных ресурсов Земли с помощью тепловизионной самолетной аппаратуры занимаются во многих странах мира. Из капиталистических стран ведущей страной в этой области являются США, использующие для этой цели снятые с вооружения военные тепловизионные системы. В Советском Союзе чаще применяются самолетный тепловизор для геофизических исследований «Вулкан» и авиационный тепловизор для самолетов и патрульных вертолетов для обнаружения очагов пожаров — «Тайга-2».

Тепловизор «Вулкан» располагает двумя тепловизионными каналами, действующими в спектральной области 3,2—5,2 и 8—14 мкм. Температурная чувствительность тепловизора 0,25 К, а угловое разрешение 5—7 угл. мин. Эффективное поле обзора 80 град.

Тепловизор «Тайга-2» имеет только один канал с длиной волны от 3,2 до 4,7 мкм с более низкими по характеру выполняемых задач характеристиками: температурным

разрешением 2,5 К и угловым — 20 мин. Однако поле обзора этого тепловизора достаточно велико — 120 град, что существенно облегчает выполнение задач по разведке очагов пожаров.

В прекрасной монографии советского ученого Б. В. Шилина, посвященной тепловой аэросъемке при изучении природных ресурсов, описаны результаты исследований тепловой аэросъемки, проведенной на необъятных просторах нашей Родины.

Как указывает Б. В. Шилин, при изучении методом тепловой аэросъемки естественных и искусственных объектов земной поверхности с собственной аномальной температурой — зон активной геотермальной деятельности, пожаров горючих полезных ископаемых и лесных пожаров, функционирующих промышленных объектов и т. д. — решаются две основные задачи: первая — обнаружение, вторая — исследование их внутренней термальной структуры, т. е. получение сведений об интенсивности нагрева отдельных элементов объектов. Вторая задача связана в основном с опознанием объекта и его отдельным изучением. При решении обеих задач тепловой аэроснимок должен содержать достаточно подробную информацию об окружающем ландшафте для правильной привязки к местности аномальных объектов и выявления их взаимосвязей. Автор отмечает ограниченность динамического диапазона имеющихся тепловизоров для качественного дешифрирования интересующих исследователей слабонагретых элементов ландшафта, а также и другой случай, когда при четком опознавании аномальных объектов не прорабатывается окружающий ландшафт, необходимый для привязки.

Тепловая аэросъемка при изучении действующих вулканов позволила выявить с высокой достоверностью вулканические процессы, что невозможно было выполнить никакими другими способами, в том числе и аэросъемкой в видимой части спектра. Тепловая аэросъемка помогает определить вулканы, действительно потухшие, и вулканы, сохраняющие слабую активность, а также прогнозировать вулканическую деятельность, что очень важно для обитаемых районов, находящихся в зоне вулканов.

Авиационная тепловая разведка позволяет определить «энергетически полезное ископаемое» — гидротермальные источники, представляющие огромное народнохозяйственное значение для зон обитания. При этом необходимо отметить, что результаты исследований, полученные с помо-

щью тепловизионных методов, вряд ли можно получить обычными, «земными» методами.

Большой ущерб народному хозяйству наносит такое стихийное бедствие, как лесные пожары. Тепловизионные методы разведки обнаруживают очаги пожаров в начальной стадии, а также в условиях сильного задымления, когда обычная фоторазведка бессильна. Тепловая аэросъемка позволяет достаточно точно определить границы участка, охваченного пожаром, и тем самым обеспечить целеуказание наземным средствам борьбы и наиболее рациональное их применение. Однако эффективность тепловой аэросъемки значительно снижается из-за длительного времени обработки результатов съемки, этого можно избежать при телевизионной передаче на землю результатов съемки.

Аналогичные результаты получены при систематическом воздушном наблюдении за пожарами, возникающими в отвалах угольных и сланцевых шахт. Как отмечает Б. В. Шилин, «...работы, проведенные на отвалах сланцевых шахт, позволили выявить их состояние с точки зрения наличия очагов самовозгорания. Более перспективно использование тепловой аэросъемки на отвалах угольных шахт Донбасса и Кузбасса».

Хорошие результаты дало использование тепловой аэросъемки для составления геологических карт с выделением некоторых разновидностей горных пород, отличающихся по теплоизлучающим качествам от окружающей геологической обстановки, что обеспечило возможность дешифрирования.

Инженерно-геологическое дешифрирование, проведенное на трассе БАМ и трассе газопроводов на севере Тюменской области, помогло еще до начала строительства предусмотреть наиболее трудные участки и провести соответствующую подготовку при прокладке трассы, что, естественно, сказалось на сроках проведения работ и их стоимости. Аналогичные работы, проведенные в засушливых районах Центральных Каракумов, позволили выявить такыры (ровные глинистые поверхности), пригодные для строительства водозаборных сооружений.

Несомненно, разработка методики дешифрирования подпочвенных источников воды с помощью тепловизионной разведки с воздуха является крупнейшим достижением.

Велико также значение тепловой аэросъемки в гидрологии для изучения водной среды — процессов и явлений в водных массах, необходимых для климатологии, морской

навигации и рыболовства. Большой вклад в гидрологию дало изучение Каспийского моря и залива Кара-Богаз-Гол с помощью тепловой аэросъемки, когда удалось провести исследование теплового режима залива и прилегающего к нему участка Каспийского моря и выявить процесс распределения вод Каспия в заливе, что оказалось очень важным для геологоразведочных работ и создания новых промыслов.

В сельском хозяйстве тепловая аэросъемка позволяет определять степень увлажненности сельскохозяйственных угодий, а также эффективность мероприятий по мелиорации и вести контроль за распределением воды при орошении. Возможность оценки водного режима бассейнов и разведка новых источников пресной воды дают исходный материал для освоения новых промышленных районов и необходимого для их существования сельскохозяйственного производства.

Особое значение приобретают тепловизионные способы в разведке загрязнения водоемов сточными водами, что не всегда реализуется существующей системой наземного контроля, осуществляемой лишь в отдельных, видимых участках стока и не дающей общей картины загрязнения и его распространения на акватории. Тепловая аэросъемка позволяет выявить не только источник загрязнения, но и миграцию сточных вод в регионе. К недостаткам тепловизионной разведки относится невозможность определить состояние загрязненности акватории на глубине, так как тепловизионный способ обеспечивает контроль только самого верхнего слоя водоема.

В условиях Арктики и Антарктики тепловая аэросъемка, решая чисто научные задачи по изучению снежно-ледового покрова, обеспечивает также наравне с обычной аэросъемкой в видимой области спектра решение крайне сложной задачи по проводке морских судов в полярных условиях, особенно в полярную ночь, где аэросъемка бессильна.

Тепловая аэросъемка, особенно в диапазоне 8—14 мкм, позволяет осуществлять ледовую разведку в зимних условиях полярной ночи: определять толщину льда, наличие в ледяном поле трещин и разводьев, состояние снежного покрова, т. е. вести поиск наиболее проходимого фарватера для проводки судов. В летнее время тепловая аэросъемка в сочетании с обычной аэрофотосъемкой дает крайне важный материал для проводки судов и выбора наиболее подходящих мест для размещения полярных станций и аэро-

дромов, а также для инженерно-геологических исследований снежно-ледяного покрова суши. С помощью тепловой аэросъемки удается определить даже «возраст» ледяного покрова.

8.2.5. Тепловидение в космосе

Если авиационные тепловизионные приборы нашли широкое применение в исследованиях поверхности земли как в научных целях, так и в решении различных народнохозяйственных задач в приземном пространстве, то было бы странным, если бы космические аппараты, удаленные на значительное расстояние от поверхности Земли, не были оснащены тепловизионными системами, дающими возможность вести наблюдение значительных пространств суши и моря нашей планеты. И действительно, телевидение часто показывает метеорологическую обстановку в том или ином регионе мира, наблюдаемую из космоса метеорологическими спутниками, оснащенными сканирующими радиометрами, как принято называть эти приборы в космической терминологии.

Так, американский метеоспутник «Нимбус-V», японский ИСЗ «Химавари», западноевропейский «Метеосат» имеют ИК-радиометры, ведущие наблюдение метеообстановки на фоне Земли в видимом и ИК-спектрах, в том числе многоканальные радиометры, передающие изображение Земли в ближней ИК-области (0,8—1,1 мкм) и двух дальних областях — 8,3—9 и 10,2—11,2 мкм. При этом первый канал ведет съемку воды, суши и растительности, второй предназначается для определения горных пород, а третий обеспечивает получение данных о температуре и влажности почвы.

Инфракрасным радиометром был оснащен также космический аппарат (КА) «Аполлон», который исследовал излучение на поверхности Луны с селеноцентрической орбиты.

Аналогичную информацию передают на Землю советские ИСЗ «Метеор», действующие на круговой околоземной орбите, удаленной от Земли на расстояние 625—630 км. ИК-радиометры, установленные на ИСЗ «Метеор», сканируют поверхность Земли в узком поле с мгновенным значением 1,5×1,5 град, что обеспечивает регистрацию полосы шириной около 1100 км в спектральной области 8—12 мкм, отвечающей максимуму излучения Земли и атмосферы.

Советская орбитальная станция «Салют-4» имела на борту ИК-телескоп-спектрометр ИТС-К, предназначенный для измерения внеатмосферных спектров излучения Луны в области 1—8 мкм. Наведение его осуществлялось визиром с электронно-оптическим преобразователем. Схема ИК-телескопа-спектрометра ИТС-К приведена на рис. 107.

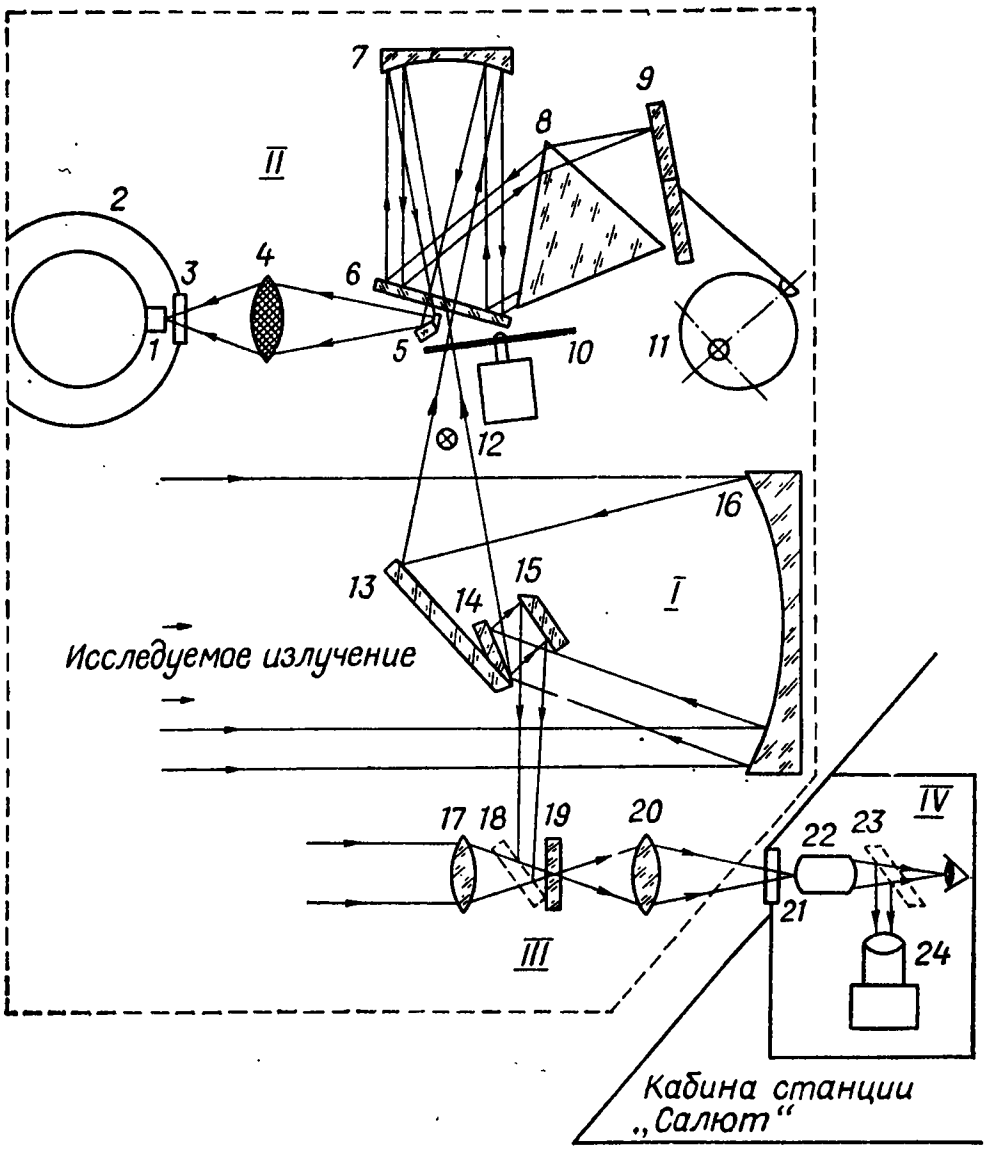


Рис. 107. Схема ИК-телескопа-спектрометра ИТС-К:

I — телескопическая система; II — спектрометр; III — широкоугольный оптический визир. Элементы системы: *1* — фоторезистор GeAu; *2* — криостат; *3*—входное окно; *4* — объектив; *5, 6, 9* — зеркала; *7* — зеркало спектрометра; *8* — призма; *10* — модулятор; *11* — кулачок; *12* — эталонный источник излучения; *13, 14, 15* — система плоских зеркал для подачи излучения на спектрофотометр и оптический визир с ЭОП; *16* — главное сферическое зеркало телескопа; *17, 20* — оптическая система визира; *18* — полупрозрачное смесительное зеркало; *19* — шкала; *21* — иллюминатор стаиции «Салют»; *22* — электронно-оптический преобразователь; *23* — разделительное зеркало; *24* — киноқамера

Спектральное разрешение прибора 0,2—0,3 мкм, линейное — 8×16 угл. мин.

Созданная в США система спутников ERTS-1 предназначена для исследования георесурсов с помощью космических ИК-аппаратов. Основанная на том, что разные природные образования имеют различные спектральные кривые отражения как в видимом, так и в ИК-диапазонах спектра, система позволяет обнаруживать и распознавать природные ресурсы по отраженному солнечному или собственному тепловому излучению. Спектральные характеристики одного и того же природного образования, например леса, посевов, почвы и т. п., не остаются постоянными во времени. Они в ряде случаев зависят от сезонных условий, влажности почвы и других причин.

Возможность с помощью спутников следить за развитием сельскохозяйственных культур, обнаруживать заболевание растений на ранней стадии, определять сезонные изменения в их развитии, всхожесть посевов и общее состояние той или иной культуры крайне важна для прогнозирования урожайности полей США. Как считают ученые, система ERTS-1 необходима во всемирном масштабе. По расчетам американских экономистов, каждый доллар, вложенный в систему ERTS-1, приносит 5 долларов прибыли за одни только исследования в области сельского хозяйства!

Выше упоминалось об использовании снятых с вооружения США военных тепловизионных систем в интересах изучения экологии и природных ресурсов. Случай применения военной тепловизионной аппаратуры для невоенных целей приводит журнал «Интернейшнл Дефенс Ревю»: разработанный фирмой «Лазергейдж» (Великобритания) для сил безопасности ручной тепловизионный наблюдательный прибор LT-1065 передан поисково-спасательным подразделениям, а также службе по обнаружению и борьбе с пожарами на ранней стадии. Аналогичное применение нашли тепловизионные приборы в США, но только в части охраны закрытых военных зон и полицейской службы.

8.3. Приборы ночного видения невоенного применения

Применение приборов ночного видения в невоенной сфере не столь обширно, как тепловидения, и тем не менее создание электронно-оптических преобразователей и усилителей яркости изображения явилось шагом вперед для мно-

гих областей науки и техники и народного хозяйства. Уже сам принцип преобразования изображения в невидимой области спектра в электронное изображение, а затем в видимое позволил «перехитрить» природу и явился основой многих замечательных приборов, без которых современный уровень науки и техники в ряде областей был бы просто недостижим.

Принцип преобразования невидимого излучения в поток электронов, а затем с помощью электролюминофоров в видимый глазом человека свет открыл широкие возможности для создания средств регистрации и наблюдения процессов, происходящих за пределами спектральной чувствительности человеческого зрения.

Регистрация излучений, лежащих за пределами кривой видности глаза человека, была реализована еще в прошлом веке, когда в 1840 г. Гершель, сын знаменитого исследователя ИК-области, получил инфракрасный спектр Солнца на зачерненной и смоченной спиртом фильтровальной бумаге. В области высокой интенсивности излучения бумага быстро высыхала, а в минимальной оставалась влажной. Добавив к спирту краситель, Гершель получил спектральную картину солнечного излучения. Однако приборы, способные выдавать данные об интенсивности излучения в различных спектральных областях, появились лишь в первой половине нашего века, когда были разработаны болометры для регистрации ИК-излучения, а затем уже фотоэлементы и фотосопротивления, чувствительные элементы которых послужили основой для преобразователей невидимого изображения в ИК- и УФ-лучах в изображение, видимое человеческим глазом. А возможность непосредственного наблюдения не только отдельных частиц, но и всей картины в невидимых лучах стала осуществимой только с изобретением электронно-оптических преобразователей.

В Советском Союзе большой вклад в дело разработки электронно-оптических преобразователей внесли советские ученые П. В. Тимофеев и М. М. Бутслов. В результате многолетней работы, начатой еще до войны членом-корреспондентом АН СССР П. В. Тимофеевым, одним из создателей фотоэлементов для телевидения, электронной оптики, тепловизионной аппаратуры, были разработаны высокоэффективные фотокатоды и мелкодисперсные катодолюминесцентные экраны и на их основе однокамерные электронно-оптические преобразователи широкого применения с большим усилением и высокой разрешающей спо-

собностью. Доктор технических наук М. М. Бутслов был пионером в деле создания каскадных электронно-оптических преобразователей с большим коэффициентом усиления и электронно-оптических усилителей рентгеновского изображения.

Интенсивные работы в области электрооптики привели к освоению в производстве электронно-оптических преобразователей и усилителей яркости изображения для приборов ночного видения, астрономии, низкоуровневого телевидения, рентгеноскопии, исследований в области высоких энергий и ядерной физики.

Электронно-оптические преобразователи с УЯИ и на МКП используются в экспериментальной физике для регистрации вакуумного ультрафиолета, а также в астрофизических приборах, в том числе в приборах космических кораблей.

Быстродействие ЭОП (до 10^{-12} с) делает их незаменимыми в аппаратуре регистрации быстропротекающих процессов в качестве затворов. Низкоуровневое телевидение с УЯИ с успехом применяется для дистанционного контроля в ядерных исследованиях.

Однако пальма первенства в применении ЭОП принадлежит астрономии, где с помощью ЭОП удалось обнаружить большие скопления звезд в «пустых», необитаемых участках Вселенной.

Все вышеизложенное имеет отношение к одному элементу ПНВ — его электронно-оптическому преобразователю. Но и сами приборы ночного видения нашли применение в невоенных областях, как, например, в зоологии, где с их помощью изучается механизм связи между животными, ночное поведение «ночных» и «дневных» животных и птиц. Уже первые опыты, проведенные с помощью активных ПНВ с ИК-прожекторами, показали, что животные и птицы очень чутко реагируют на ИК-облучение даже на больших расстояниях — предельной дальности наблюдения — и проявляют большой интерес к облучению, стараясь попасть в наиболее теплый участок центральной зоны ИК-прожекторного луча. Наблюдение же в пассивные приборы объектов живой природы никак не сказывается на поведении животных и птиц и не нарушает привычного для них образа жизни и действий.

Относительная простота устройства и эксплуатации ПНВ, их относительно небольшие габаритные размеры и масса обеспечили их использование и в мирной жизни человека. В настоящее время они являются неотъемлемой

частью вооружения правоохранительных органов многих стран мира, выполняя практически те же функции, что и в условиях военных действий, — слежение за преступниками в условиях ограниченной видимости и пресечение их преступных действий. Зарубежные фирмы широко рекламируют всевозможные ПНВ для полиции, охраны складов и запретных зон, что, конечно, существенно ограничивает возможность преступлений в ночное время. Наверное, и Жан Вальжан, имея очки ночного видения, быстрее бы вынес из парижских подземелий бесчувственное тело Мариуса Понмерси, а Шерлок Холмс мог бы значительно раньше обезвредить полковника Морана.

Надо надеяться, что в конце концов человечество «перекует мечи на орала» и приборы ночного видения и тепловизионные приборы найдут самое широкое применение в мирной жизни человека для охраны его здоровья, бóльшего общения с природой и населяющими ее животными и птицами, для того чтобы в ночной тиши слушать и смотреть, как растут травы...

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Видеть ночью — непреходящая мечта человека. Боязнь темноты, попытка побороть страх в ночное время с помощью огня костра, горящей лучины, дрожащего язычка пламени свечи привели человека к многим миллионам свечей электрического освещения большого города. В прежние времена для обнаружения подкрадывающегося противника ночью выставляли дозоры, куда отбирали людей с наиболее острым ночным зрением. В России — это солдат-степняк. В морском флоте в марсовую корзину ночью помещали впередсмотрящего для предупреждения столкновения судов или нападения врага.

В наше время научно-техническая революция привела к созданию эффективных способов и приборов для преодоления темноты и ограничений видимости. На смену ограниченному зрению человека пришли такие средства, как оптические приборы, приборы ночного видения и тепловизионные приборы, мощная радиолокация, наблюдение из космоса.

Приборы, действующие в условиях ограниченной видимости, используются непосредственно человеком — наблюдателем или стрелком, командиром. Обнаружив и опознав цель, каждый из них либо докладывает командиру, либо принимает решение об ее уничтожении, если она представляет непосредственную опасность. Чем раньше увидит наблюдатель разыскиваемую им цель, тем более полно будет владеть ситуацией.

Приборы, обеспечивающие возможность наблюдения ночью и в условиях ограниченной видимости, развиваются за рубежом весьма интенсивно с использованием последних достижений научно-технического прогресса. В разработке и изготовлении таких приборов участвует много научных учреждений и предприятий промышленности.

В данной книге авторы предприняли попытку изложить в сравнительно простой форме краткую историю создания

технических средств для преодоления ограниченной видимости, возникающей естественно в природе или вследствие применения человеком искусственных средств маскировки и помех, описать принципы действия приборов, показать преимущества их применения в условиях ограниченной видимости.

Авторы надеются, что сведения, изложенные в книге, помогут читателю представить состояние и перспективы развития оптико-электронных приборов, привлечь внимание специалистов к проблеме видения ночью и при ограниченной видимости, так заинтересовавшей более двухсот лет назад нашего великого предка Михаила Васильевича Ломоносова!

Авторы выражают искреннюю признательность члену-корреспонденту АН СССР М. М. Мирошникову за дружеское внимание и помощь в создании книги, инженеру Т. Н. Дунаевой, редакторам Ю. И. Планкину, В. Н. Соколовой, а также товарищам по работе за ценные советы и критические замечания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1-й раздел

1. Вавилов С. И. Глаз и Солнце. — М.: АН СССР, 1961.
2. Инженерная психология в применении к проектированию оборудования: Пер. с англ. — М.: Машиностроение, 1971.
3. Кравков С. В. Глаз и его работа. — М.: Госмедиздат, 1932.
4. Луизов А. В. Глаз и цвет. — М.: Госэнергоиздат. Ленинградское отделение, 1983.
5. Роуз А. Зрение человека и электронное зрение. — М.: Мир, 1977.
6. Травникова Н. П. Эффективность визуального поиска. — М.: Машиностроение, 1985.
7. Шаронов В. В. Свет и цвет. — М.: Госиздат физ.-мат. лит., 1961.
8. F. Barratte and D. King. International Defense Review. 1984. V. 17; n. Special Electronics. 1984. No 3. P. 35—41.
9. International Defense Review. 1980. V. 13. No 2. P. 75—94, 251—254
10. Military Technology, 1986. V. 10. No 10. P. 124—135.

2-й раздел

1. Леконт Ж. Инфракрасное излучение. — М.: Госиздат физ.-мат. лит., 1958.
2. Козелкин В. В., Усольцев И. Ф. Основы инфракрасной техники. — М.: Машиностроение, 1985.
3. Роуз А. Зрение человека и электронное зрение. — М.: Мир, 1977.
4. Шаронов В. В. Свет и цвет. — М.: Госиздат физ.-мат. лит., 1961.
5. Blackwell C. Mortenson, Blackwell H. Richard. "Individual responses to lighting parameteres for a population of 235 observers of varying ages." J. Illum. Eng. Soc. 1980. V.9,No 4. P. 205—202.
6. Defense Electronics. 1983. No 5. P. 109—117.
7. International Defense Review. 1980. V. 13. No 9. P. 1465—1466.
8. Kampftruppen. 1985. No. 5. S. 225—230.
9. Wehrtechnik. 1980. No 1. S. 58.

3-й раздел

1. Техника и вооружение. 1976. № 10. С. 18.
2. Чуриловский В. Н. Теория оптических приборов. — М.; Л.: Машиностроение, 1966.
3. Armada International. 1987. V. 11. No 1. P. 55—56.
4. Defense. 1983. No. 10. P. 621.
5. Defense Electronics, 1983. V. 15. No 5. P. 146.
6. International Defense Review. 1971. V. 4. No 1. P. 78.
7. International Defense Review. 1973. V. 6. No 5. P. 629.

8. International Defense Review. 1974. V. 7. No 1. P. 104.
9. International Defense Review. 1975. V. 8. No 6. P. 900.
10. International Defense Review. 1976. V. 9. No 6. P. 1025.
11. International Defense Review. 1980. V. 13. No 9. P. 1465—1466.
12. International Defense Review. 1985. V. 18. No 2. P. 290.
13. Military Review. 1980. V. 70. No 7. P. 66.
14. Military Technology. 1984. V. 8 No 10. P. 124—135.
15. Military Technology. 1984. V. 8. No 11. P. 24—32.
16. Military Technology. 1986. V. 12. No 6. P. 129.
17. Ordnance. 1970. V. 55. No. 301. P. 88.
18. Optical Engineering. 1981. V. 20. No 2. P. 208—211.
19. Wehrtechnik. 1980. No 1. S. 64.
20. Wehrtechnik. 1980. No 10. S. 36, S. 38—40, 82.
21. Jane's Weapon System. Infantry. 1985/1986. P. 779.
22. Jane's Weapon System. 1987/88. P. 366, 367, 386—389, 403.

4-й раздел

1. Гордон Ю. А. и Хоренков А. В. Артиллерийская разведка. — М.: Воениздат, 1971.
2. Орлов В. А. Лазеры в военной технике. — М.: Воениздат, 1976.
3. Kampftruppen. 1975. No 2. S. 59—62.
4. Laser Focus. 1971. V. 7. No 8. P. 36—39.
5. Laser Weekly. 1971. No 5. P. 3—4.
6. Orlow V. A. Uf eszkoz a hagitecnikasan a laser. Zrinyi Katonai Kiado. Budapest, 1981.
7. Jane's Weapon System. 1985/86. P. 764, 785, 792.
8. Jane's Weapon System. 1986/87.
9. Jane's Weapon System. 1987/88. P. 322, 334, 372, 404.
10. Military Technology. 1981. V. 5. No 5. P. 185.
11. Military Technology. 1986. No 10. P. 85.

5-й раздел

1. Богомолов В. А., Сидоров В. И., Усольцев И. Ф. Приемные устройства ИК-систем. — М.: Радио и связь, 1987.
2. Жуков А. Г., Горюнов А. М., Кальфа А. А. Тепловизионные приборы и их применение. — М.: Радио и связь, 1983.
3. Леконт Ж. Инфракрасное излучение. — М.: Госиздат физ.-мат. лит., 1958.
4. Мирошников М. М. Теоретические основы оптико-электронных приборов. — М.; Л.: Машиностроение, 1983.
5. Armada International. 1983. V. 7. No 5. P. 140—154.
6. Armada International. 1987. V. 11. No 1. P. 49.
7. Army Research and Development. 1974. V. 15. No 3. P. 16—18.
8. Armada International, Special. 1983. No 11. P. 150.
9. Armada International. 1982. V. 6. No 5. P. 78—82.
10. International Defense Review. 1982. V. 15. No 2. P. 223.
11. International Defense Review. 1982. V. 15. No 4. P. 497—498.
12. International Defense Review. 1984. V. 17. No 1. P. 62—72.
13. International Defense Review. 1984. V. 17. No 3. P. 291—299.
14. International Defense Review. 1986. V. 19. No 6. P. 766—778, 1498—1500.
15. International Defense Review. 1987. V. 20. No 8. P. 921, 922, 1105, 1117.

16. International Defense Review. 1988. V 21. No 1. P. 65—69.
17. Jane's Weapon System. 1987/88. P. 363, 366, 370, 372, 376, 387, 390, 393, 398, 401, 404, 409, 410, 425, 735, 974.
18. Kampftruppen, 1979. No 5. S. 232.
19. Military Technology, Electronics in Defense. 1984. No 6. P. 687.
20. Military Technology. 1984. V. 8. No 1. P. 32—35.
21. Military Technology. 1984. V. 8. No 11. P. 24—32.
22. Military Technology. 1984. V. 8. No 11. P. 283.
23. Military Technology. 1985. V. 9. No 11. P. 80—91.
24. Military Technology. 1986. V. 10. No 5. P. 181—185.
25. Military Technology. 1986. V. 10. No 7. P. 988—1008.
26. National Defense. 1984. April. V. LXVIII. No 397. P. 28—33.
27. Soldat und Technik. 1982. No 4. S. 210—214.
28. Soldat und Technik. 1982. No 5. S. 250—259.
29. Soldat und Technik. 1983. V. 6. No 5. S. 244—247.
30. Special Electronics. 1985. No 3. P. 15.
31. The Radio and Electronics Engineer. 1982. V. 52. No 1. P. 17—30.
32. Waffentechnik, April. 1986. S. 50—55.
33. Wehrtechnik. 1977. No 10. S. 50—55.
34. Wehrtechnik. 1983. No 8. S. 75—78.

6-й раздел

1. Вейцер Ю. И. и Лучинский Г. П. Химия и физика маскирующих дымов. М.: Оборонгиз, 1938.
2. Дунаева Т. Н. Средства предупреждения о лазерном, инфракрасном и радиолокационном облучении//Научно-технический сборник. Военная техника и электроника. М., 1978. № 1.
3. Орлов В. А. Защита от лазерного оружия//М.: Военный вестник. 1967. № 2.
4. Фрейс и Вест. Химическая война. — М.: Гос. военное изд-во, 1924.
5. Defense and Armament. 1984. Marth. No 28. P. 36.
6. Internationale Wehrrevue. 1981. No 40. S. 1323—1325.
7. Microwellen Magazin. 1985. V. 10. No 2. P. 120—122.
8. Military Technology. 1986. V. 10. No 5. P. 185.
9. Soldat und Technik. 1982. No 5. S. 252.
10. Soldat und Technik. 1987. No 3. S. 179.
11. Special Electronics. 1984. No 3. P. 9—16.
12. Truppendienst. 1982. No 5. S. 512.
13. US Army Aviation Digest. 1984. V. 30. No 10. P. 36—39.
14. Wehrtechnik. 1980. No 1. S. 921—922.
15. Wehrtechnik. 1982. No 7. S. 15—24.
16. Wehrtechnik. 1986. No 10. S. 52—56.

7-й раздел

1. Рыбян А. А. Подразделения в ночном бою. — М.: Воениздат, 1984.
2. International Defense Review. 1984. V. 17. No 1. P. 67—72.
3. Kampftruppen. 1985. No 5. S. 225—230.
4. Military Technology. 1986. V. 10. No 7. P. 98—108.
5. Soldat und Technik. 1986. No 7. S. 376—385.
6. Soldat und Technik. 1987. No 3. S. 179.
7. Jane's Weapon System. 1987/88. P. 322, 334, 336.

8-й раздел

1. Блюдников Л. М., Мельникова В. П., Рудакас П. П. Некоторые области применения тепловизионной аппаратуры/Дом научно-технической пропаганды им. Дзержинского. М., 1979.
2. Жуков А. Г., Горюнов А. Н., Кальфа А. А. Тепловизионные приборы и их применение. — М.: Радио и связь, 1983.
3. Козелкин В. В., Усольцев И. Ф. Основы инфракрасной техники. — М.: Машиностроение, 1985.
4. Левитин И. В. Применение ИК-техники в народном хозяйстве. — Л.: Энергоиздат. Ленинградское отделение, 1981.
5. Мирошников М. М. Теоретические основы оптико-электронных приборов. — М.; Л.: Машиностроение, 1983.
6. Патент США. No 416L907. Kl. 250/230. Vincent T. B l y. Thermooptical far infrared system. Рефер. журнал 2В24. Т. 2. 1980.
7. Справочник/Под ред. Л. З. Криксунова. Киев: Техника, 1980.
8. Тепловидение: Сборник научных трудов МВСиСО/Институт радиотехники, электроники и автоматики. — М. 1976. Вып. 1; 1978. Вып. 2; 1980. Вып. 3; 1982. Вып. 4; 1984. Вып. 5; 1986. Вып. 6.
9. Шилин Б. В. Тепловая аэросъемка при изучении природных ресурсов. — Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1980.
10. International Defense Review. 1984. V. 17. No 1. P. 67—72.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение	5
1. Глаз и его возможности в процессе наблюдения	11
1.1. Глаз и его возможности	—
1.2. Поиск и наблюдение	17
1.3. Естественная ночная освещенность	24
2. Физические основы оптико-электронных приборов	29
2.1. Электронно-оптические преобразователи (ЭОП) приборов ночного видения (ПНВ)	—
2.2. Низкоуровневые телевизионные приборы ночного видения (НУТВ)	49
3. Приборы ночного видения	56
3.1. История создания	—
3.2. Активные приборы ночного видения (ПНВ нулевого поколения)	58
3.3. Пассивные приборы ночного видения (ПНВ I, II и III поколений)	64
3.3.1. Пассивные приборы I поколения	—
3.3.2. Пассивные приборы II поколения	76
3.3.3. Очки ночного видения	88
3.4. Танковые приборы ночного видения	95
3.5. Низкоуровневое телевидение (НУТВ)	99
3.6. Тенденции развития техники ночного видения	103
4. Пассивно-активные приборы наблюдения и обеспечения стрельбы ночью	108
5. Тепловизионные приборы	120
5.1. Общие положения	—
5.2. Построение тепловизионной аппаратуры	126
5.3. Модульные тепловизионные системы	130
5.3.1. Достоинства и недостатки ТВП	—
5.3.2. Система «Общих модулей» США и ФРГ	131
5.3.3. Французская модульная тепловизионная система SMT	139
5.3.4. Модульные системы Великобритании	143
5.4. Тепловизионные приборы в зенитных ракетных комплексах	151
5.5. Обнаружители теплоизлучающих целей	153
5.6. Перспективы улучшения ТТХ тепловизионных приборов	164
5.7. Новое направление в тепловидении	166
5.8. Применение тепловизионных приборов	171
6. Средства и способы противодействия оптико-электронным приборам и системам	180
6.1. Разведка активных приборов ночного видения и лазерных средств подсветки и дальнометрирования	—
6.2. Противодействие органам зрения и оптико-электронным	

приборам, действующим в условиях ограниченной видимости 186
6.2.1. Средства активных помех 187
6.2.2. Пассивные помехи 193
7. Боевые действия в условиях ограниченной видимости . . 202
7.1. Ограниченная видимость . . . . . —
7.2. Действия войск в условиях ограниченной видимости . . 204
7.3. Вспомогательные средства обеспечения боевых действий в ночных условиях 217
8. Оптико-электронные приборы и системы видения в науке и технике 223
8.1. Общие сведения . . . . . —
8.2. Тепловизионная аппаратура в мирных целях 224
8.2.1. Тепловизионные приборы в науке и технике . . —
8.2.2. Тепловидение в медицине 227
8.2.3. Тепловидение в народном хозяйстве 233
8.2.4. Тепловидение в авиации 236
8.2.5. Тепловидение в космосе 241
8.3. Приборы ночного видения невоенного применения . . 243
Заключение 247
Список литературы 249

Орлов В. А., Петров В. И.

О-66 Приборы наблюдения ночью и при ограниченной видимости. — М.: Воениздат, 1989. — 254 с.: ил.

ISBN 5—203—00278—9

Книга знакомит читателей с быстро развивающимся направлением по созданию оптико-электронных приборов, обеспечивающих разведку местности и целей в условиях ограниченной видимости. В ней изложены основные принципы работы приборов ночного видения всех поколений и тепловизионных приборов, приведены тактико-технические характеристики и область применения вооружения с этими приборами (по материалам зарубежной печати).

Рассчитана на специалистов, преподавателей, слушателей и курсантов вузов, может быть полезна молодежи, готовящейся к службе в Вооруженных Силах СССР.

О $\frac{1305040000—209}{068(02)—89}$ 65—90 **ББК 68.9**

Научно-популярное издание

Орлов Вадим Александрович
Петров Виталий Ильич

ПРИБОРЫ НАБЛЮДЕНИЯ НОЧЬЮ И ПРИ ОГРАНИЧЕННОЙ ВИДИМОСТИ

Художник *В. В. Васильев*
Художественный редактор *А. Я. Салтанов*
Редактор (литературный) *И. И. Матвеева*
Технический редактор *А. А. Перескокова*
Корректор *Ю. Б. Горячева*

ИБ № 3505

Сдано в набор 24.11.88. Подписано в печать 26.06.89. Г-28503.
Формат 84×108/32. Бумага тип. № 1. Гарн. литературная.
Печать высокая. Печ. л. 8. Усл. печ. л. 13,44. Уч.-изд. л. 13,99.
Усл. кр.-отт. 13,44. Тираж 15 000 экз. Изд. № 13/3648. Зак. 720. Цена 1 р. 10

Воениздат, 103160, Москва, К-160.
1-я типография Воениздата.
103006, Москва, К-6, проезд Скворцова-Степанова, дом 3.

256